(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. Mai 2013 (30.05.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/075882 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F03B 15/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/070039

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Oktober 2012 (10.10.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 119 384.0
25. November 2011 (25.11.2011) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **VOITH PATENT GMBH** [DE/DE]; St. Pöltener Str. 43, 89522 Heidenheim (DE).

(72) Erfinder; und
(71) Anmelder *(nur für US)*: **HESSE, Oliver** [DE/DE]; Rotäckerweg 6, 89537 Giengen (DE). **GRETHER, Ralf** [DE/DE]; Flügelstr. 6, 89547 Gerstetten (DE).

(74) Anwalt: **DR. WEITZEL & PARTNER**; Friedenstraße 10, 89522 Heidenheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: HYDROELECTRIC POWER-PLANT, AND A METHOD FOR THE PRIMARY REGULATION OF A HYDROELECTRIC POWER-PLANT

(54) **Bezeichnung** : WASSERKRAFTWERK UND VERFAHREN ZU PRIMÄRREGELUNG EINES WASSERKRAFTWERKS

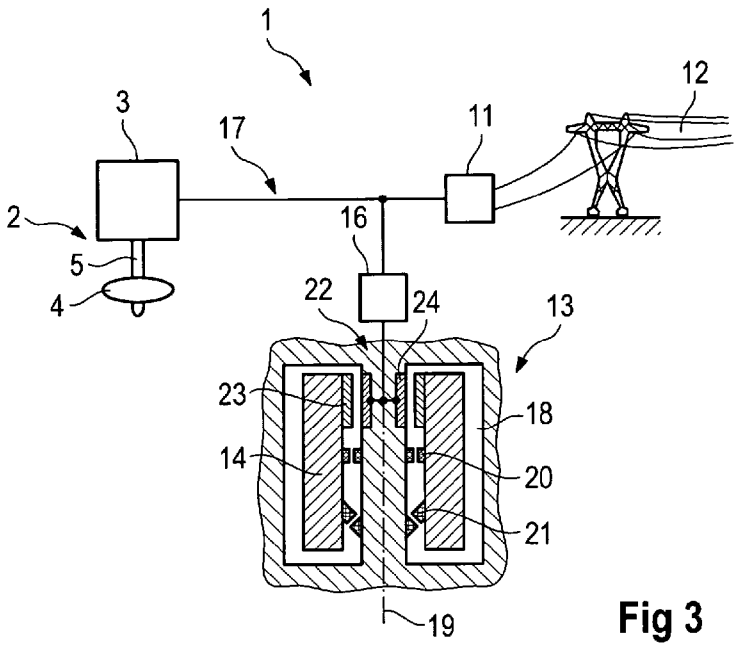


Fig 3

(57) **Abstract**: The invention relates to a hydroelectric power-plant comprising at least one turbine which is mechanically connected to at least one generator, at least one flywheel storage-system being coupled to said at least one generator, and this flywheel storage-system comprising an electric machine to which a flywheel is connected. Said electric machine and said at least one generator are electrically coupled.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft ein Wasserkraftwerk mit - wenigstens einer Turbine, welche - mit wenigstens einem Generator mechanisch verbunden ist. Dabei ist wenigstens ein Schwungradspeicher mit dem wenigstens einen Generator gekoppelt. Der Schwungradspeicher weist eine elektrische Maschine auf, mit welcher ein Schwungrad verbunden ist. Die elektrische Maschine und der wenigstens eine Generator sind elektrisch gekoppelt.

WO 2013/075882 A1

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Wasserkraftwerk und Verfahren zu Primärregelung eines Wasserkraftwerks

Die Erfindung betrifft ein Wasserkraftwerk nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Primärregelung eines solchen Wasserkraftwerks.

Wasserkraftwerke sind aus dem allgemeinen Stand der Technik bekannt. Sie nutzen einen Höhenunterschied zwischen einem sogenannten Oberwasser und einem sogenannten Unterwasser, um das Wasser beim Strömen vom Oberwasser zum Unterwasser durch eine Turbine zu leiten. Der aus der Höhendifferenz stammende Druckunterschied wird dabei in mechanische Energie im Bereich der Turbine umgewandelt. Die Turbine treibt dann einen Generator an, welcher die mechanische Energie in elektrische Energie wandelt, um diese für elektrische Verbraucher zur Verfügung zu stellen. Typischerweise werden Wasserkraftwerke dabei so eingesetzt, dass die im Bereich der Wasserkraftwerke erzeugte elektrische Leistung einem elektrischen Energieversorgungsnetz zur Verfügung gestellt wird. Nun ist es so, dass elektrische Energieversorgungsnetze typischerweise eine vorgegebene Netzfrequenz aufweisen. Um die Funktionalität des Netzes zu gewährleisten ist es wichtig, diese Netzfrequenz in gewissen vorgegebenen Grenzen zu halten. Dafür wird die eingespeiste elektrische Leistung so geregelt, dass diese zur Unterstützung einer stabilen Netzfrequenz beiträgt. In der Kraftwerkstechnik wird dies als Primärregelung bezeichnet.

Die Primärregelung im Bereich eines Wasserkraftwerks erfolgt nun typischerweise so, dass Stellglieder zur Beeinflussung der elektrischen Leistung an der Turbine in Abhängigkeit eines Ist-Werts der Netzfrequenz zur Beeinflussung der Turbinenleistung nachgestellt werden, um einen Zielwert der Netzfrequenz zu erreichen. Diese Vorgehensweise ist aus dem allgemeinen Stand der Technik bekannt. Sie erfordert Turbinen mit entsprechenden Stellgliedern, welche mit einer vergleichsweise großen Anzahl von Stellbewegungen je Zeiteinheit nachgestellt

werden können, um die Anforderungen der Primärregelung an die Turbine erfüllen zu können.

Die Belastung für derartige Stellglieder, beispielsweise den Leitschaufeln eines Leitapparats und/oder den verstellbaren Turbinenschaufeln beziehungsweise Turbinenflügeln, ist vergleichsweise hoch. Die Lagerung und Auslegung dieser Bauteile als Stellglieder muss entsprechend robust erfolgen. Damit sind typischerweise ein hohes Gewicht sowie vergleichsweise hohe Kosten zur Erzielung der gewünschten Lebensdauer verbunden.

Die Aufgabe der hier vorliegenden Erfindung besteht nun darin, ein Wasserkraftwerk mit wenigstens einer solchen Turbine anzugeben, welches hinsichtlich der Kosten und Materialien für die Stellglieder der Turbine optimiert ist und dennoch eine sehr hohe Lebensdauer bei den Lagerungen der Stellglieder gewährleistet.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Lösung ergeben sich aus den hiervon abhängigen Unteransprüchen.

Außerdem löst ein Verfahren zur Primärregelung eines solchen Wasserkraftwerks mit den Merkmalen im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 8 die Aufgabe. Eine vorteilhafte Weiterbildung hiervon ist im abhängigen Unteranspruch angegeben.

Das erfindungsgemäße Wasserkraftwerk nutzt ein mit dem Generator, welcher beispielsweise im Falle eines Pumpspeicherkraftwerks auch als Motor-Generator ausgebildet sein kann, gekoppelten Schwungradspeicher. Dieser Schwungradspeicher in Kopplung mit dem Generator kann zur Vergleichmäßigung der Leistungsabgabe des Generators eingesetzt werden. Insbesondere ist ein

solcher Aufbau sehr gut dafür geeignet, dass der Schwungradspeicher bei der Primärregelung, also der Aufrechterhaltung einer konstanten Netzfrequenz, durch eine Variation der Leistung des Wasserkraftwerks eingesetzt wird. Der Schwungradspeicher kann ausgehend von einem vorhandenen Energieinhalt abgebremst werden, um zusätzliche Leistung bereitzustellen und so die Leistungsabgabe des Wasserkraftwerks zu erhöhen, wenn dies aufgrund der Primärregelung erforderlich ist. Er kann genauso gut dafür verwendet werden, Leistung des Generators aufzunehmen und das Schwungrad dadurch zu beschleunigen. Die von dem Wasserkraftwerk insgesamt abgegebene Leistung wird dadurch reduziert. In beiden Fällen kann so, ohne dass die mit dem Generator verbundene Turbine in ihrer Leistung beeinflusst werden muss, eine Variation der Leistungsabgabe zur Primärreglung durch das Wasserkraftwerk erfolgen.

Neben diesem besonders vorteilhaften Einsatz des Schwungradspeichers in dem erfindungsgemäßen Wasserkraftwerk zur Primärregelung kann der Schwungradspeicher außerdem für weitere Anwendungen genutzt werden. Kommt es beispielsweise zu einem Stillsetzen der Turbine und des Generators in dem Wasserkraftwerk, dann kann beim Abbremsen das Schwungrad des Schwungradspeichers auf einen maximalen Energieinhalt aufgeladen werden. Es kann dann beispielsweise während des Stillstands der Turbine zur Eigenenergieversorgung innerhalb des Wasserkraftwerks genutzt werden. Es kann insbesondere auch zur Energieversorgung bei einem Wiederanfahren des wenigstens einen Maschinensatzes aus Turbine und Generator (mit-)genutzt werden. Die Energieeffizienz des Wasserkraftwerks insgesamt lässt sich so steigern.

Bei dem erfindungsgemäßen Wasserkraftwerk ist es vorgesehen, dass der Schwungradspeicher eine elektrische Maschine aufweist, mit welcher ein Schwungrad des Schwungradspeichers verbunden ist, wobei die elektrische

Maschine und der wenigstens eine Generator elektrisch gekoppelt sind. Eine solche elektrische Kopplung ermöglicht es, das Schwungrad unabhängig vom Generator in dem Wasserkraftwerk anzuordnen und so beispielsweise über ein Schwungrad mehrere Generatoren oder auch über mehrere Schwungräder einen oder mehrere Generatoren zu koppeln. Dies ist hinsichtlich der räumlichen Flexibilität und der Bauform des Schwungradspeichers von Vorteil, da so ein Schwungradspeicher eingesetzt werden kann, welcher baulich unabhängig von dem Generator realisiert ist. Dies ist insbesondere deshalb von Vorteil, da die Generatoren typischerweise als Einzelanfertigungen ausgeführt sind und somit Anpassungsaufwand beim Schwungradspeicher eingespart werden kann.

In einer sehr günstigen Ausgestaltung dieses Aufbaus ist es dabei vorgesehen, dass die elektrische Maschine als Außenläufer ausgebildet ist, wobei ein Rotor drehfest mit dem Schwungrad des Schwungradspeichers verbunden ist. Ein solcher Aufbau ist besonders einfach und effizient zu realisieren. Die elektrische Maschine als Außenläufer sitzt dann in der Mitte eines typischerweise als Hohlzylinder ausgebildeten Schwungrads. Die Kopplung zwischen dem drehfest mit dem Schwungrad verbunden Rotor und dem Stator des Außenläufers erfolgt dann über die Magnetkräfte.

In einer vorteilhaften Weiterbildung kann es dabei vorgesehen sein, dass das Schwungrad in einem unter Unterdruck stehenden Raum umläuft, umso ein Abbremsen durch Luftreibung zu reduzieren. In diesem Fall kann es ferner vorgesehen sein, dass der Rotor der elektrischen Maschine innerhalb des unter Unterdruck stehenden Raumes und der Stator der elektrischen Maschine außerhalb des unter Unterdruck stehenden Raumes angeordnet ist. Die Grenze des unter Unterdruck beziehungsweise Vakuum stehenden Raumes, in welchem das Schwungrad umläuft, wird also zwischen den Rotor und den Stator der als Außenläufer ausgebildeten elektrischen Maschine gelegt. Ohne zusätzlichen Aufwand, und ohne den unter Unterdruck stehenden Raum über Dichtungen oder

dergleichen durchdringen zu müssen, kann so ein sehr energieeffizienter Aufbau realisiert werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist es dabei vorgesehen, dass ein Schwungrad des Schwungradspeichers magnetisch gelagert ist. Eine solche magnetische Lagerung, welche berührungslos erfolgt, ist ebenfalls hinsichtlich von Reibungsverlusten ideal, um ein sehr energieeffizientes Schwungrad aufzubauen. In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Wasserkraftwerks kann es außerdem vorgesehen sein, dass mehrere der Schwungradspeicher in jeweils modularen Einheiten ausgebildet sind, wobei je nach benötigter Leistung und/oder benötigtem Energieinhalt eine entsprechende Anzahl der modularen Einheiten eingesetzt ist. Dieser Aufbau mit mehreren Schwungradspeichern in dem Wasserkraftwerk ermöglicht einen modularen Aufbau der Schwungradspeicher. Die einzelnen modularen Einheiten können dabei insbesondere exakt gleich und mit gleichem Energieinhalt beziehungsweise gleicher Leistung ausgebildet sein. So lässt sich unabhängig vom Bautyp des oder der Generatoren durch eine geeignete Anzahl derartiger Module die benötigte Speicherkapazität durch die Schwungradspeicher bereitstellen, beispielsweise die aufgrund der Primärregelung bei den Anforderungen des jeweiligen Energieversorgungsnetzes benötigte Leistung. Durch die Modularisierung der Einheiten werden diese einfach und effizient in ihrem Aufbau. Kostenvorteile hinsichtlich der größeren Stückzahl lassen sich realisieren und eine Anpassung der benötigten Speicherkapazität ist einfach und ohne den Aufbau von speziellen Schwungradspeichern für die jeweils vorliegende Anwendung möglich.

Teil der Erfindung ist auch ein Verfahren zur Primärregelung eines Wasserkraftwerks, wobei die von dem Wasserkraftwerk abgegebene elektrische Leistung in Abhängigkeit eines Ist-Werts einer Netzfrequenz eines die elektrische Leistung aufnehmenden elektrischen Versorgungsnetzes nachgestellt wird. Erfindungsgemäß wird dabei die erforderliche Änderung der abgegebenen

elektrischen Leistung zuerst durch Leistungsabgabe durch Abbremsen und Leistungsaufnahme vom Generator durch Beschleunigen des Schwungradspeichers erreicht, wonach ab einer oberen oder unteren Grenzdrehzahl des Schwungrads des Schwungradspeichers oder einer damit korrelierenden Größe erste und gegebenenfalls zweite Stellglieder der Turbine zur Beeinflussung der abgegebenen elektrischen Leistung genutzt werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Primärregelung also soweit wie möglich in der oben bereits beschriebenen Art und Weise über eine Leistungsanpassung durch Leistungsaufnahme beziehungsweise Leistungsabgabe aus dem Schwungradspeicher realisiert. Dies funktioniert typischerweise so lange, wie Leistung im Schwungradspeicher eingespeichert oder aus diesem entnommen werden kann. Sobald der Schwungradspeicher eine obere oder untere Grenze, welche typischerweise anhand einer Drehzahl eines Schwungrads des Schwungradspeichers festgemacht wird, erreicht hat, ist die Leistungsveränderung zur Primärregelung über den Schwungradspeicher nicht mehr möglich, dann muss eine Leistungsanpassung durch die Stellglieder der Turbine in an sich bekannter Art und Weise erfolgen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Primärregelung eines solchen Wasserkraftwerks nutzt genau diese vorteilhafterweise möglichen Schritte zur Realisierung einer Primärregelung, welche die Stellbewegungen durch die Stellglieder der Turbine auf ein absolutes Minimum reduziert. Dementsprechend können Stellglieder und Lagerungen einfacher und leichter ausgelegt werden, sodass insgesamt ein kostengünstiger Aufbau mit vergleichbarer Lebensdauer oder beim vergleichbaren Aufbau eine sehr viel höhere Lebensdauer ermöglicht wird.

In einer besonders günstigen und vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es dabei vorgesehen, dass die Regelung der ersten und gegebenenfalls zweiten Stellglieder so erfolgt, dass die erforderliche Leistung in Abhängigkeit der Frequenz sowie eines Leistungsbedarfs zum Aufladen

des Schwungradspeichers oder eines Leistungsangebots durch Abbremsen des Schwungradspeichers geliefert wird. Diese besonders günstige Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht es durch eine Art „Überreaktion" beim Nachstellen der ersten und gegebenenfalls zweiten Stellglieder die von der Turbine gelieferte Leistung über den benötigten Leistungswert hinaus zu ändern. Wurde eine Leistungsanpassung über die Stellglieder erforderlich, weil der Schwungradspeicher „leer" geworden ist, kann so mit der zusätzlichen Leistung der Schwungradspeicher wieder aufgeladen werden. Wurde die Anforderung der Leistungsanpassung über die Stellglieder ausgelöst, weil der Schwungradspeicher keine weitere Aufnahmekapazität mehr hatte, dann kann die Leistung über die Stellglieder so eingeregelt werden, dass zusätzliche Leistung von dem Schwungradspeicher benötigt wird, um die benötigte Stabilisierung der Netzfrequenz zu erreichen. In diesem Fall wird der Schwungradspeicher etwas entladen und steht so wieder sowohl zur Abgabe als auch zur Aufnahme von Leistung zur Primärregelung des Wasserkraftwerks zur Verfügung.

Alles in allem erlaubt eine Primärregelung über wenigstens einen Schwungradspeicher dabei einen sehr energieeffizienten Betrieb des Wasserkraftwerks, da für die Ansteuerung der Turbine immer der hinsichtlich des Wirkungsgrads optimierte Fall verwendet werden kann, während der durch die Primärregelung geforderte Ausgleich der Leistung des Wasserkraftwerks über eingespeicherte und abgegebene Leistung des Schwungradspeichers erfolgt. Da aufgrund der Primärregelung nicht benötigte Leistung nicht gänzlich abgeregelt wird, sondern in dem Schwungradspeicher eingespeichert wird, kann diese zumindest zum Teil beim nächsten Bedarf an Mehrleistung wieder verwendet werden, sodass die Primärregelung bei dem erfindungsgemäßen Wasserkraftwerk nicht nur sehr schonend für die Stellglieder der Turbine, sondern auch sehr energieeffizient möglich ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Wasserkraftwerks sowie des Verfahrens ergeben sich aus den restlichen abhängigen Ansprüchen und werden anhand des Ausführungsbeispiels deutlich, welches nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren näher beschrieben wird.

Dabei zeigen:

Figur 1 eine Prinzipdarstellung eines für die Erfindung relevanten Ausschnitts aus einem Wasserkraftwerk;

Figur 2 einen gemessenen Verlauf einer Netzfrequenz;

Figur 3 eine alternative Ausführungsform des relevanten Ausschnitts aus einem Wasserkraftwerk;

Figur 4 eine Darstellung des Leistungsverlaufs sowie des Energieinhalts des Schwungradspeichers bei der Primärregelung; und

Figur 5 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Wasserkraftwerks gemäß der Erfindung.

In der Darstellung der Figur 1 ist ein für die Erfindung relevanter Ausschnitt aus einem Wasserkraftwerk 1, welches in seiner Gesamtheit nicht dargestellt ist, zu erkennen. Den Kern des dargestellten Ausschnitts bildet ein Maschinensatz 2, welcher einen Generator 3 sowie beispielhaft eine Kaplanturbine 4 umfasst. Diese sind über eine gemeinsame Welle 5, welche in dem dargestellten Ausführungsbeispiel parallel zur Schwerkraft ausgebildet ist, verbunden. Die Kaplanturbine 4 selbst weist sogenannte Turbinenschaufeln 6, welche auch als Flügel bezeichnet werden, auf. Diese Turbinenschaufeln 6 sind, wie es am Beispiel einer der Turbinenschaufeln 6 durch einen Doppelpfeil angedeutet ist, verstellbar

ausgebildet. Sie bilden die ersten Stellglieder der Kaplanturbine 4, welche insgesamt als doppeltgeregelte Turbine 4 ausgebildet ist. Die zweiten Stellglieder werden durch Leitschaufeln 7 in einem Leitapparat ausgebildet, welcher die Zufuhr des Wassers zu der Kaplanturbine 4 beeinflusst. Über prinzipmäßig angedeutete Aktuatoren 8 sind diese Leitschaufeln 7 verstellbar. Sie beeinflussen so die Menge an Wasser, welche durch das sogenannte Druckrohr von einem Oberwasser des Wasserkraftwerks 1 über die Spirale 9 zu der Kaplanturbine 4 strömt. Nachdem die Turbine 4 passiert ist, strömt das Wasser über ein sogenanntes Saugrohr 10 in das Unterwasser ab.

Durch das Gefälle zwischen dem Oberwasser und dem Unterwasser kommt es zu einer Druckdifferenz in dem Wasser, welches die Kaplanturbine 4 antreibt. Über die gemeinsame Welle 5 wird dann der Generator 3 angetrieben und stellt elektrische Leistung bereit. Über eine angedeutete elektrische Netzkopplung 11, welche einen Umrichter umfassen kann, gelangt diese elektrische Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz 12, welches in der Darstellung der Figur 1 anhand eines Masten einer Überlandleitung beispielhaft angedeutet ist.

Um im Bereich des elektrischen Versorgungsnetzes 12 nun für eine ausreichende Netzstabilität zu sorgen ist es wichtig, dass die Netzfrequenz in dem elektrischen Versorgungsnetz 12 in vergleichsweise engen Grenzen konstant gehalten wird. Die typische Netzfrequenz in Europa liegt dabei bei ca. 50 Hz, in den Vereinigten Staaten bei ca. 60 Hz. Das Wasserkraftwerk 1 unterstützt die Konstanz der Netzfrequenz durch die sogenannte Primärregelung. Dies bedeutet, dass die Leistungsabgabe des Generators 3 in das elektrische Netz 12 anhand der Netzfrequenz nachgeführt wird. Hierfür erfolgt eine Ansteuerung der doppeltgeregelten Turbine 4 beziehungsweise ihrer beiden Stellglieder, nämlich der Turbinenschaufeln 6 als erste Stellglieder und der Leitschaufeln 7 als zweite Stellglieder.

Bei der Primärregelung gemäß dem Stand der Technik ist es nun so, dass zur Optimierung des Wirkungsgrads der doppeltgeregelten Turbine 4 zwischen den Stellbewegungen der Leitschaufeln 7 als zweite Stellglieder und der Turbinenschaufeln 6 als erste Stellglieder der sogenannte Optimalzusammenhang gilt. Dies bedeutet, dass die Stellbewegungen immer in einem optimalen Zusammenhang zueinander ausgeführt werden. Dadurch lässt sich der Wirkungsgrad der Turbine 4 optimieren. Die Ansteuerung der doppeltgeregelten Turbine 4 durch die Netzfrequenz führt zu einer sehr hohen Anzahl von Stellbewegungen, da in der typischen Netzfrequenz sehr schnelle Schwankungen auftreten und darüber hinaus ein Rauschen auftreten kann. Am Beispiel der hier dargestellten Kaplanturbine 4 wurden bei einem aus der Praxis aufgezeichneten Frequenzverlauf f über der Zeit t, wie er in der Darstellung der Figur 2 anhand der mit A bezeichneten Linie zu erkennen ist, innerhalb einer Betriebsstunde ca. 2500 bis 3000 Änderungen der Ansteuerung der Flügelschaufeln 6 beziehungsweise der Leitschaufeln 7 registriert. Die Lager der Flügelschaufeln 6 und der Leitschaufeln 7 müssen also auf eine vergleichsweise hohe Anzahl von Stellbewegungen, welche teilweise nur sehr geringe Verfahrwege aufweisen, ausgelegt sein. Dies macht die Lagerung vergleichsweise groß, aufwändig und teuer.

Um dieser Problematik der sehr hohen Anzahl von Änderungen der Ansteuerung der Flügelschaufeln 6 beziehungsweise der Leitschaufeln 7 entgegenzuwirken, ist bei dem hier dargestellten Wasserkraftwerk 1 ein Schwungradspeicher 13 mit einem Schwungrad 14 vorgesehen. Der Schwungradspeicher 13 beziehungsweise sein Schwungrad 14 sind in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel mit der über den Generator 3 hinaus verlängerten Welle 5 über eine schaltbare magnetische Kupplung 15 verbunden. Diese schaltbare magnetische Kupplung 15 kann beispielsweise aus Permanentmagneten im Bereich des Schwungrads 14 ausgebildet sein, welche mit schaltbaren (Elektro-)Magneten im Bereich der Welle 5 bei Bedarf direkt mechanisch oder über eine magnetische Wechselwirkung „verbunden" werden können. Um die Drehzahl der Welle 5 und des Schwungrads

14 aneinander anzugleichen, kann außerdem eine in der hier prinzipmäßig ausgeführten Darstellung nicht erkennbare Getriebestufe zwischen der Welle 5 und dem Schwungrad 14 beziehungsweise der magnetischen Kupplung 15 vorhanden sein. Neben der magnetischen Kupplung 15 wären selbstverständlich auch Alternativen wie beispielsweise eine mechanische oder eine hydrodynamische Kupplung zur Ankopplung des Schwungradspeichers 13 an den Generator 3 denkbar.

In der Darstellung der Figur 3 ist eine alternative Ausführungsform des Schwungradspeichers mit einer alternativen Art der Ankopplung des Schwungradspeichers 13 an den Generator 3 prinzipmäßig dargestellt. Die Kopplung ist bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel elektrisch ausgebildet. Der Schwungradspeicher 13 ist dafür über einen Umrichter 16 in den kraftwerksinternen Teil eines elektrischen Netzes 17, welches nachfolgend als internes Netz 17 bezeichnet wird, eingekoppelt. Auch der hier lediglich angedeutete Maschinensatz 2 mit dem Generator 3 ist elektrisch mit diesem internen Netz 17 verbunden.

Die Ausgestaltung des Schwungradspeichers 13 mit dem Schwungrad 14 ist hier etwas detaillierter dargestellt. Das massenbehaftete Schwungrad 14 läuft in einem unter Unterdruck stehenden Raum 18, insbesondere einem unter Vakuum beziehungsweise Hochvakuum stehenden Raum, um eine Drehachse 19 um. Die Drehachse 19 kann wie hier angedeutet in Richtung der Schwerkraft verlaufen. Man spricht in diesem Fall von einer „senkrechten Drehachse". Alternativ dazu wäre auch eine sogenannte „waagrechte Drehachse", also eine senkrecht zur Schwerkraft verlaufende Drehachse denkbar.

Der evakuierte Raum 18 soll beispielsweise über eine hier nicht dargestellte Vakuumpumpe auf einen absoluten Druck von weniger als 0,01 mbar evakuiert sein. Das Schwungrad 14 selbst, welches in der Darstellung der Figur 3 aus

faserverstärktem, insbesondere kohlefaserverstärktem, Kunststoff ausgebildet sein soll, ist über magnetische Lagerungen 20, 21 gelagert. Die im Bild der Figur 3 oben dargestellte magnetische Lagerung mit dem Bezugszeichen 20 soll als magnetische Radiallagerung 20 ausgebildet sein. Die in der Darstellung der Figur 3 unten gezeigte magnetische Lagerung mit dem Bezugszeichen 21 soll als kombinierte Radial-/Axiallagerung 21 ausgebildet sein. Sie ist dabei in der Darstellung der Figur 3 rein beispielhaft zu verstehen, da je nach der Dimension des Aufbaus eine solche Lagerung durch schräge Lagerungselemente konstruktiv gegebenenfalls schwer zu realisieren wäre. Die kombinierte Radial-/Axiallagerung 21 könnte auch aufgetrennt in ein Radiallager und ein in Richtung der Schwerkraft unterhalb des Schwungrads 14 angebrachtes Axiallager realisiert sein.

Die magnetischen Lagerungen 20, 21 können dabei sowohl aktiv als auch passiv ausgebildet sein. Insbesondere sollen die magnetischen Lager 20, 21 so ausgebildet sein, dass sie sowohl aktive als auch passive Elemente umfassen. Durch den passiven Teil der magnetischen Lagerung 20, 21 wird dann beispielsweise die Tragfähigkeit des Schwungrads 14 und dessen grundsätzliche Lagerung sichergestellt. Über den aktiven Teil der magnetischen Lagerung 20, 21 wird die Lagerstabilität gewährleistet und es können dynamisch auftretende Schwankungen, Positionsabweichungen, Vibrationen und dergleichen aktiv ausgeregelt werden, da auf derartige „Störungen" mittels einer aktiv angesteuerten magnetischen Lagerung 20, 21 durch eine Regelung in an sich bekannter Art und Weise reagiert werden kann. Insgesamt ermöglicht eine solche magnetische Lagerung 20, 21 eine sehr verlustarme Lagerung des Schwungrads 14, sodass die Energie über die Trägheit des massenbehafteten Schwungrads 14 in dem Schwungradspeicher 13 über einen vergleichsweise langen Zeitraum mit minimalen Verlusten gespeichert werden kann.

Der in Figur 3 dargestellte Schwungradspeicher 13 weist nun außerdem eine elektrische Maschine 22 auf. Diese weist wiederum einen Rotor 23 und einen

Stator 24 auf. Der Aufbau der elektrischen Maschine 22 ist als sogenannter Außenläufer realisiert. Der Stator 24 steht dabei im Inneren der elektrischen Maschine 22 fest und ist über die angedeutete Leitung mit dem Umrichter 16 verbunden, welcher seinerseits wiederum mit dem internen Netz 17 und darüber mit dem Versorgungsnetz 12 verbunden ist. Der Aufbau kann je nach Anforderung in verschiedenen Versorgungsnetzen 12 eingesetzt werden, beispielsweise in Mittelspannungsnetzen mit Spannungen in der Größenordnung von 5 bis 15 kV oder in sogenannten Hochleistungsnetzen im Mittelspannungsbereich, welche üblicherweise ein Spannungsniveau von 34 kV aufweisen.

Bei dem Schwungradspeicher 13 in der Ausführungsform gemäß Figur 3 wird nun die magnetische Kopplung, welche zwischen dem Rotor 23 und dem Stator 24 der elektrischen Maschine 22 ohnehin vorhanden ist, genutzt, um Energie in den Schwungradspeicher 13 einzuspeichern beziehungsweise aus diesem zu entnehmen.

Ungeachtet der genauen Ausführungsform des Schwungradspeichers 13 beispielsweise durch eine mechanische, magnetische oder hydrodynamische Ankopplung, wie in der Darstellung der Figur 1 beschrieben, oder mit der elektrischen Ankopplung, wie in der Figur 3 beschrieben, besteht nun die Möglichkeit, über den Schwungradspeicher 3 die Leistung des internen Netzes 17 des Wasserkraftwerks 1 zu beeinflussen. Dies lässt sich zur Primärregelung nutzen. Das Wasserkraftwerk 1 kann immer eine in Abhängigkeit der Netzfrequenz f beziehungsweise ihres Sollwerts A benötigte Leistung bereitstellen, umso für eine möglichst konstante Netzfrequenz f in dem elektrischen Versorgungsnetz 12 zu sorgen. Das Wasserkraftwerk 1 nutzt dazu zwei unterschiedliche Mechanismen. Diese Mechanismen sind regelungstechnisch miteinander gekoppelt. Sie bestehen einerseits, wie oben bereits beschrieben und bei den herkömmlichen Aufbauten üblich, aus einer Leistungsregelung der Turbine 4 durch ein Verstellen der Turbinenschaufeln 6 und der Leitschaufeln 7 des Leitapparats. Diese werden

typischerweise immer gemeinsam verstellt, um den sogenannten Optimalzusammenhang einzuhalten und damit den bestmöglichen Wirkungsgrad des Wasserkraftwerks 1 zu gewährleisten. Wie bereits erläutert, sind jedoch sehr viele Stellbewegungen der Stellglieder 6, 7 für die Turbine 4 vergleichsweise belastend hinsichtlich der Lagerung der einzelnen Stellglieder 6, 7, insbesondere der Turbinenflügel 6. Bei dem hier beschriebenen Wasserkraftwerk 1 lässt sich die Anzahl der benötigten Stellbewegungen der ersten und zweiten Stellglieder 6, 7 nun jedoch drastisch reduzieren. Der Schwungradspeicher 13 kann in beiden bisher beschriebenen Ausgestaltungen nämlich dazu genutzt werden, Leistung aus dem internen Netz 17 aufzunehmen, wodurch das Schwungrad 14 entsprechend beschleunigt wird, oder Leistung an das interne Netz 17 abzugeben, wodurch das Schwungrad 14 entsprechend abgebremst wird. Da die Primärregelung des Wasserkraftwerks 1 nun in Abhängigkeit des Ist-Werts A der Netzfrequenz f des elektrischen Versorgungsnetz 12 die Leistung, welche das Wasserkraftwerk 1 nach außen hin abgibt, sehr dynamisch variieren muss, muss diese dynamische Leistungsvariation durch das interne Netz 17 des Wasserkraftwerks 1 bereitgestellt werden. Auf eine dem Ist-Wert A der Frequenz f entsprechende Leistungsanforderung kann bei dem hier beschriebenen Wasserkraftwerk 1 nun jedoch so reagiert werden, dass zuerst die benötigte zusätzliche Leistung über den Schwungradspeicher 13 bereitgestellt wird, oder ein eventueller Leistungsüberschuss durch ein Einspeichern dieser Leistung in dem Schwungradspeicher 13 zu einer Reduktion der Leistung im internen Netz 17 führt. Eine Variation der Leistung mittels des Schwungradspeichers 13 erlaubt so hochdynamisch, die benötigten Leistungswerte in Abhängigkeit des Ist-Werts A der Netzfrequenz f nachzufahren. In der Darstellung der Figur 4 ist dies für einen Ausschnitt des in Figur 2 gezeigten Verlaufs A der Netzfrequenz f gezeigt. Der Ausschnitt entspricht dabei in etwa dem ersten Drittel des in Figur 2 gezeigten Frequenzverlaufs A. Auf der X-Achse des Diagramms in Figur 4 ist dabei vergleichbar zur Figur in Figur 2 die Zeit t aufgetragen. Auf der ersten rechts dargestellten Y-Achse ist die Leistung P des Schwungradspeichers 13 dargestellt.

Diese schwankt um eine mit Null bezeichnete Linie zwischen -100 und +100 %, also der jeweils maximal aufnehmbaren beziehungsweise maximal abgebbaren Leistung des Schwungradspeichers 13. Auf der zweiten links dargestellten Y-Achse ist der Energieinhalt E des Schwungradspeichers aufgezeigt. Die mit e bezeichnete Kurve zeigt den Energieinhalt zum jeweiligen Zeitpunkt. Die mit B bezeichnete Kurve zeigt den Leistungsverlauf des Schwungradspeichers 13. Nun ist es so, dass zum Zeitpunkt Null der Schwungradspeicher mit einem vorgegebenen Energieniveau, welches beispielsweise aus einer vorherigen Beschleunigung oder einem in dem Schwungradspeicher 13 verbleibenden Restenergiegehalt herrührt, startet. Entsprechend der Linie B gibt der Schwungradspeicher nun Energie ab beziehungsweise nimmt Energie auf, je nach Anforderung durch die Primärregelung des Wasserkraftwerks 1. Solange die aufgenommene beziehungsweise abgegebene Leistung innerhalb des Bandes zwischen -100 % und +100 % verbleibt, reicht zur Primärregelung die Leistungseinspeicherung und Leistungsentnahme aus dem Schwungradspeicher 13 völlig aus. Die ersten und zweiten Stellglieder 6, 7 für die Turbine 4 müssen nicht bewegt werden und können in ihrem Zustand verharren. Lediglich dann, wenn die Leistung des Schwungradspeichers 13 an ihre Grenzen kommt, oder alternativ dazu der Energieinhalt nicht ausreicht, was typischerweise über Drehzahlen des Schwungrads 14 oder mit diesen Drehzahlen korrespondierende Größen festgelegt wird, dann muss durch eine gemeinsame Regelung 25, welche in der später noch erläuterten Darstellung der Figur 5 beispielhaft dargestellt ist, auf die ersten und zweiten Stellglieder 6, 7 der Turbine 4 zur Primärregelung Einfluss genommen werden. Die Zeitpunkte, zu denen dies notwendig ist, sind in der Darstellung der Figur 4 im Bereich der Zeitachse t jeweils mit x gekennzeichnet. Deutlich ist zu erkennen, dass ein solches Nachstellen der Stellglieder 6, 7 lediglich zu sechs Zeitpunkten notwendig ist. Betrachtet man nun, dass die Darstellung der Frequenz f in der Figur 2 über die dort dargestellte Betriebsstunde ca. 2500 bis 3000 Änderungen der Ansteuerungen der Flügelschaufeln 6 beziehungsweise der Leitschaufeln 7 notwendig gemacht hat, so ergibt diese Notwendigkeit von

lediglich sechs Stellbewegungen der Flügelschaufeln 6 und der Leitschaufeln 7 in dem hier abgebildeten Zeitraum von knapp einem Drittel der Betriebsstunde bereits eine signifikante Reduzierung der notwendigen Stellbewegung der ersten und zweiten Stellglieder 6, 7. Deutlich ist zu erkennen, dass sich die Anzahl der benötigten Stellbewegungen der mechanisch anzusteuernden Stellglieder in Form der Turbinenschaufeln 6 und der Leitschaufeln 7 signifikant reduziert wird.

Die Basis für die hier vorliegende Messung bildete dabei ein Wasserkraftwerk 1 mit einer Nennleistung von 40 MW in Kombination mit einem Schwungradspeicher 1 mit einer Leistung von 1 MW. Weiterführende Berechnungen zeigen, dass auch bei einer Reduzierung der Leistung des Schwungrads 13 auf ca. die Hälfte lediglich rund 100 – 150 Stellbewegungen der Stellglieder 6, 7 notwendig sind. Auch dies würde bereits zu einer signifikanten Reduzierung ausgehend von den ursprünglich benötigten 2500 bis 3000 Stellbewegungen führen. Auch dadurch lässt sich bereits eine deutliche Entlastung der Lager erreichen, sodass diese entsprechend einfacher konstruiert werden könnten und trotz kostengünstigerer Ausführung eine deutlich höhere Lebensdauer erzielen.

Neben der Anwendung zur Primärregelung kann der Schwungradspeicher 13 selbstverständlich auch zur Energieversorgung des internen Netzes 17 genutzt werden, wenn der Maschinensatz 2 des Wasserkraftwerks 1 im Stillstand ist, sofern der Energiespeicher 13 vorher geladen wurde. Je nach Ausgestaltung des Schwungradspeichers 13 kann so über eine mehr oder weniger lange Zeit hinweg Energie aus dem Schwungradspeicher 13 für das interne Netz und damit die Eigenenergieversorgung des Wasserkraftwerks 1 geliefert werden.

Die in dem Schwungradspeicher 13 vorgehaltene Energie kann außerdem bei einem Wiederstart des Maschinensatzes 2 verwendet werden, um die Fremderregung des Generators 3 beim Anlauf sicherzustellen, sodass ein Anlauf

des Wasserkraftwerks 1 prinzipiell auch ohne aus dem elektrischen Versorgungsnetz 12 zugeführte Energie denkbar ist.

In der Darstellung der Figur 5 ist eine weitere Ausführungsform eines Wasserkraftwerks 1 zu erkennen. Wie bei Wasserkraftwerken 1 häufig üblich, weist das Wasserkraftwerk 1 mehrere Maschinensätze 2, in diesem Fall beispielsweise drei einzelne Maschinensätze 2, auf. Auch hier können die Turbinen 4 wiederum als Kaplanturbinen ausgebildet sein. Ebenso wäre die Verwendung anderer Turbinen denkbar, beispielsweise die Verwendung von Francis-Turbinen, welche dann lediglich über einen Leitapparat mit Leitschaufeln 7 als einziges Stellorgan in ihrer Leistung beeinflussbar sind.

Anstelle der Generatoren 3 könnten auch Motor-Generatoren eingesetzt werden, insbesondere wenn es sich bei dem Wasserkraftwerk 1 um ein Pumpspeicherkraftwerk handelt. Dann könnte im generatorischen Betrieb bei einem Antrieb durch die Turbine 4 elektrische Leistung erzeugt werden, während im Pumpbetrieb und motorisch genutzten Generatoren 3 durch die Turbinen 4 Wasser zurück in das Oberwasser gepumpt werden könnte.

Die drei Maschinensätze 2 beziehungsweise ihre Generatoren 3 sind über das interne Netz 17 mit einer elektrischen Netzkopplung 11 und über diese mit dem elektrischen Versorgungsnetz 12 verbunden. Die elektrische Netzkopplung 11 kann dabei insbesondere einen Umrichter sowie diverse Schalteinrichtungen umfassen. Zusätzlich sind in dem Wasserkraftwerk 1 in der Darstellung der Figur 5 vier Schwungradspeicher 13 zu erkennen, welche über jeweils ihren Umrichter 16 mit dem internen Netz 17 verbunden sind. Sie können in der oben beschriebenen Art und Weise zuallererst für die Primärregelung des Wasserkraftwerks 1 eingesetzt werden. Die Regelung erfolgt dabei in der mit dem Bezugszeichen 25 bezeichneten gemeinsamen Regelung. Diese erhält, wie es durch den gestrichelten Pfeil dargestellt ist, in jedem Fall eine Rückmeldung über den Ist-

Wert A der Netzfrequenz f und übernimmt die gemeinsame Regelung sowohl der Generatoren 3 als auch der Schwungradspeicher 13. Durch die in dem in Figur 5 dargestellten Wasserkraftwerk 1 elektrisch ausgebildete Kopplung zwischen den Schwungradspeichern 13 und den Generatoren 3 in dem Wasserkraftwerk 1 entsteht nun die Möglichkeit, eine passende Leistung der Schwungradspeicher 13 im Verhältnis zur Leistung aller Maschinensätze 2 einfach und effizient zu realisieren. Hierfür können die einzelnen hier dargestellten Schwungradspeicher 13 jeweils identisch als einzelne Module aufgebaut sein. Beispielsweise kann jedes der Module eine Leistung von 0,75 MW liefern. Eine geeignete Anzahl von Modulen, in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel vier solcher Module, werden dann jeweils über ihren integrierten Umrichter 16 in das interne Netz 17 integriert. Die Anzahl der Module kann dabei entsprechend der Nennleistung aller eingesetzten Generatoren 3 entsprechend variiert werden, beispielsweise so, dass die Leistung aller Schwungradspeicher 13 zusammen in der Größenordnung von 1/100 bis 1/20 zu der Nennleistung aller Generatoren 3 zusammen ausgebildet ist. Durch den modularen Aufbau der einzelnen Schwungradspeicher 13 lassen sich diese von den Maschinensätzen 2 des Wasserkraftwerks 1 unabhängig ausbilden und unter Verwendung zahlreicher Gleichteile einfach und effizient herstellen. Je nach benötigter Speicherleistung der Schwungradspeicher 13 wird dann die hierfür geeignete Anzahl an Schwungradspeichern 13 beziehungsweise Modulen der Schwungradspeicher 13 in dem Wasserkraftwerk 1 installiert.

Patentansprüche

1. Wasserkraftwerk (1) mit

1.1 wenigstens einer Turbine (4), welche

1.2 mit wenigstens einem Generator (3) mechanisch verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass

1.3 wenigstens ein Schwungradspeicher (13) mit dem wenigstens einen Generator (3) gekoppelt ist, wobei

1.4 der Schwungradspeicher (13) eine elektrische Maschine (22) aufweist, mit welcher ein Schwungrad (14) des Schwungradspeichers verbunden ist, wobei die elektrische Maschine (22) und der wenigstens eine Generator (3) elektrisch gekoppelt sind.

2. Wasserkraftwerk (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine (22) als Außenläufer ausgebildet ist, wobei ein Rotor (23) drehfest mit dem Schwungrad (14) verbunden ist.

3. Wasserkraftwerk (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwungrad (14) des Schwungradspeichers (13) in einem unter Unterdruck stehenden Raum (18) umläuft.

4. Wasserkraftwerk (1) nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (23) der elektrischen Maschine (22) innerhalb des unter Unterdruck stehenden Raums (18) und der Stator (24) der elektrischen Maschine (22) außerhalb des unter Unterdruck stehenden Raums (18) angeordnet ist.

5. Wasserkraftwerk (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwungrad (14) des Schwungradspeichers (13) magnetisch gelagert ist.

6. Wasserkraftwerk (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere der Schwungradspeicher (13) in jeweils modularen Einheiten ausgebildet sind, wobei je nach benötigter Leistung und/oder benötigtem Energieinhalt eine entsprechende Anzahl der modularen Einheiten eingesetzt ist.

7. Wasserkraftwerk (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Turbine (4) als doppelt geregelte Turbine, insbesondere als doppelt geregelte Kaplan-Turbine, ausgebildet ist.

8. Verfahren zur Primärregelung eines Wasserkraftwerks (1) mit wenigstens einer Turbine (4), welche mit wenigstens einem Generator (3) mechanisch verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Schwungradspeicher (13) mit dem wenigstens einen Generator (3) gekoppelt ist, wobei der Schwungradspeicher (13) eine elektrische Maschine (22) aufweist, mit welcher ein Schwungrad (14) des Schwungradspeichers verbunden ist, wobei die elektrische Maschine (22) und der wenigstens eine Generator (3) elektrisch gekoppelt sind, wobei die von dem Wasserkraftwerk (1) abgegebene elektrische Leistung in Abhängigkeit eines Ist-Werts (A) einer Netzfrequenz (f) eines die elektrische Leistung aufnehmenden elektrischen Versorgungsnetzes (12) nachgestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die erforderliche Änderung der abgegebenen elektrischen Leistung zuerst durch Leistungsabgabe durch Abbremsen und Leistungsaufnahme vom Generator (3) durch Beschleunigen des Schwungradspeichers (13) erreicht wird, wonach ab einer oberen oder unteren Grenzdrehzahl eines Schwungrads(14) des Schwungradspeichers (13), oder einer damit korrelierenden Größe, erste und gegebenenfalls zweite Stellglieder (6, 7) der Turbine (4) zur Beeinflussung der abgegebenen elektrischen Leistung genutzt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung anhand der ersten und gegebenenfalls zweiten Stellglieder (6, 7) der Turbine (4) so erfolgt, dass durch die Turbine die erforderliche Leistung in Abhängigkeit der Frequenz sowie eines Leistungsbedarfs zum Aufladen des Schwungradspeichers (13) oder eines Leistungsangebots durch Abbremsen des Schwungradspeichers (13) geliefert wird.

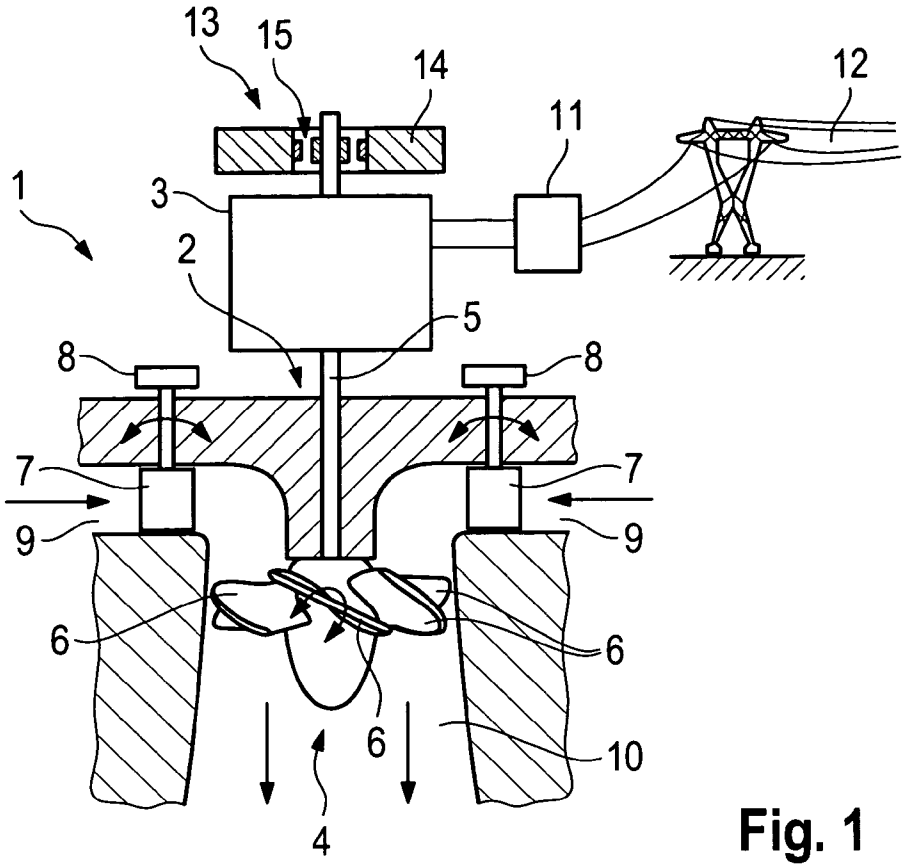


Fig. 1

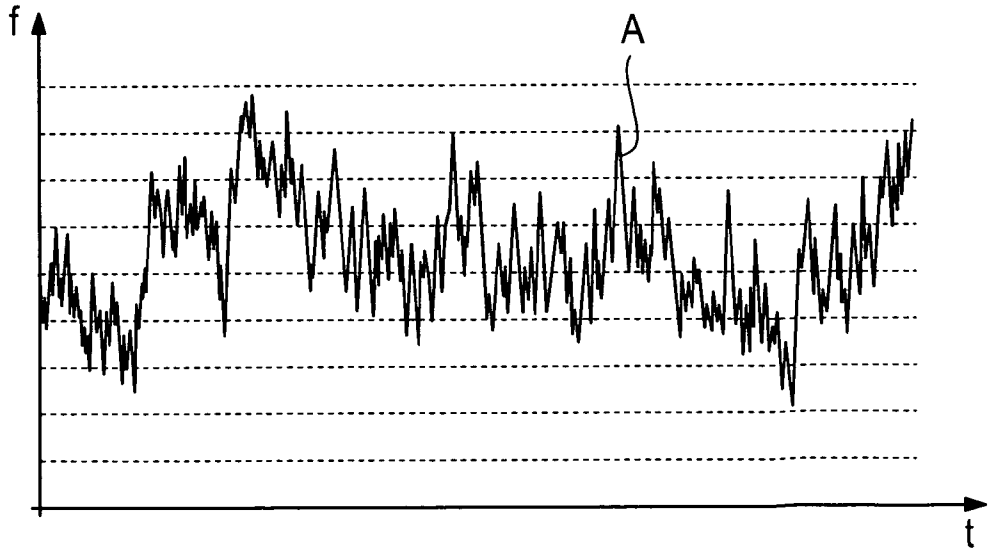


Fig. 2

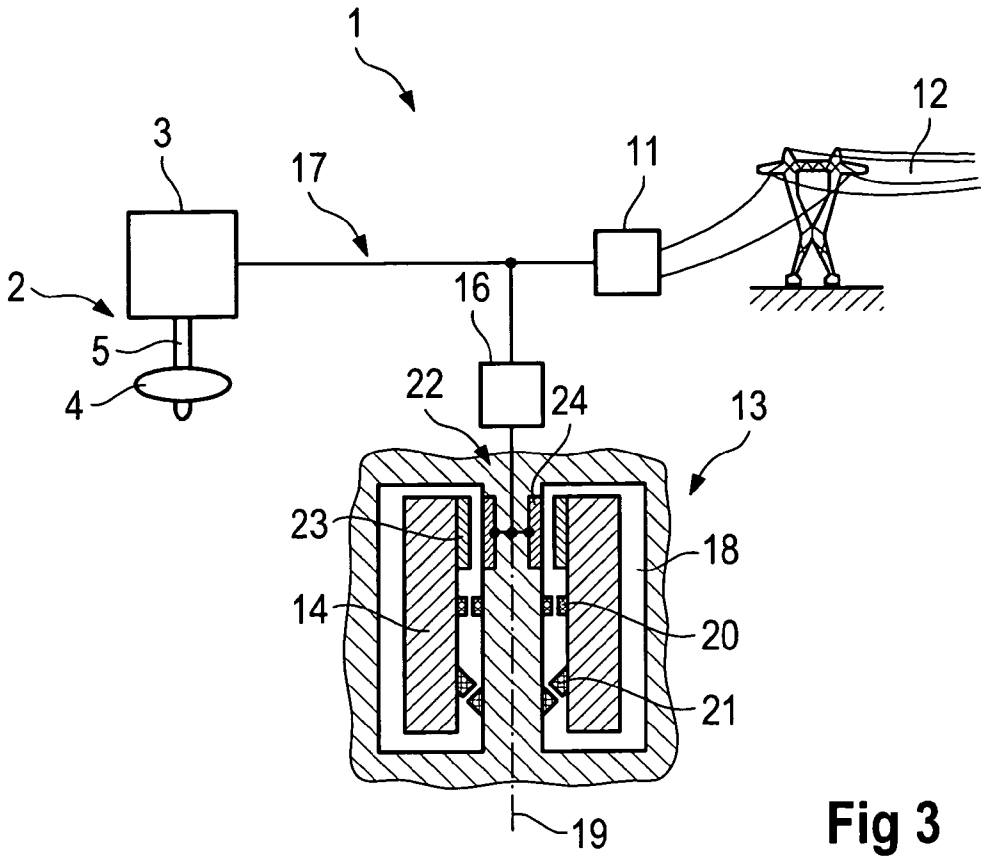

1
12
3
17
11
2
16
5
4
22
24
13
23
18
14
20
21
19

Fig 3

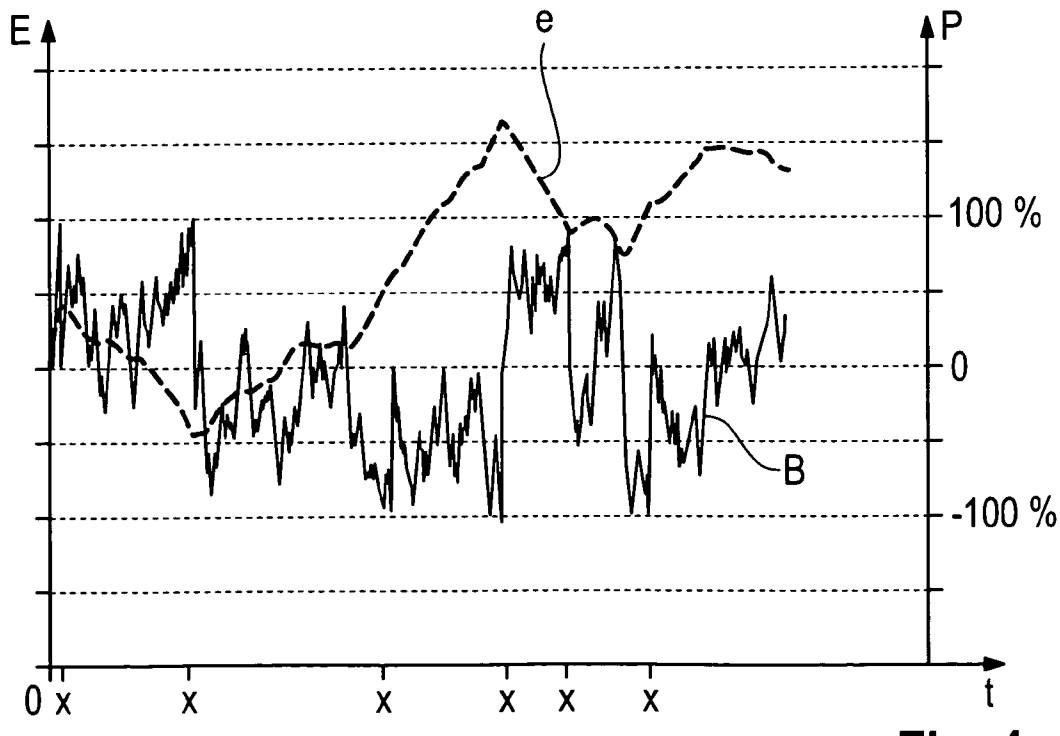

E
e
P
100 %
0
-100 %
B
0 x
x
x
x
x
x
t

Fig. 4

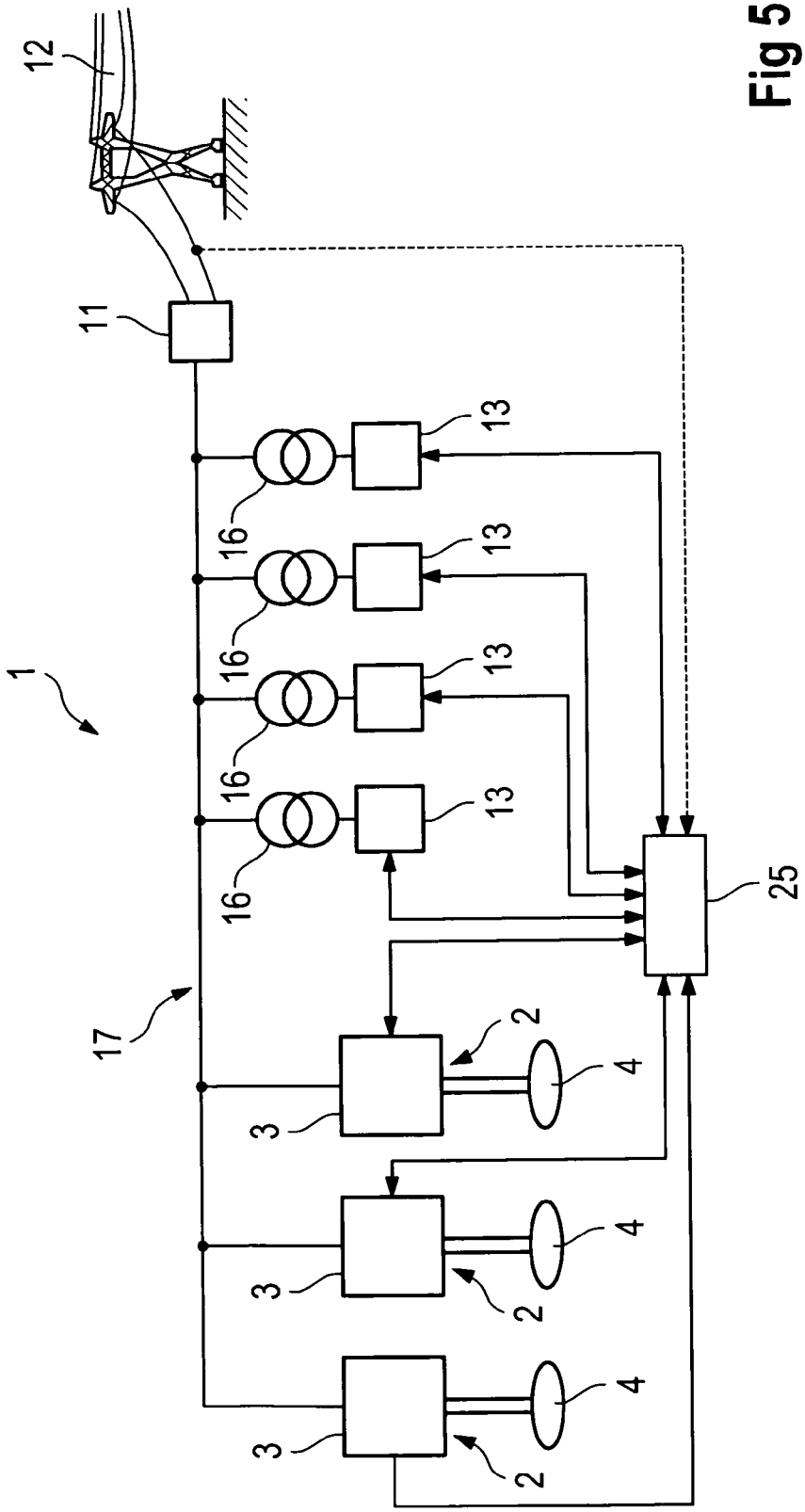


Fig 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/070039

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F03B15/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2008/068760 A2 (NOKED HAIM [IL]) 12 June 2008 (2008-06-12) page 4, line 9 - page 5, line 2; figure 1 page 5, lines 23,24	1-6 7
Y	US 3 140 854 A (BOYD LAWRENCE M) 14 July 1964 (1964-07-14) claim 1; figure 1	7
Y	CH 235 106 A (VOITH GMBH J M [DE]) 15 November 1944 (1944-11-15) claim 1; figures 1-4	8,9

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 December 2012	19/12/2012

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Król, Marcin

3

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	"Beacon Power Connects Flywheel Energy Storage System to California Wind Farm", , 12 March 2010 (2010-03-12), pages 1-3, XP055047605, Retrieved from the Internet: URL:http://www.smartgridnews.com/artman/uploads/1/beacon_power_1.pdf [retrieved on 2012-12-12] page 1 -----	8,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/070039

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008068760 A2	12-06-2008	NONE	
US 3140854 A	14-07-1964	NONE	
CH 235106 A	15-11-1944	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/070039

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F03B15/00
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F03B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2008/068760 A2 (NOKED HAIM [IL]) 12. Juni 2008 (2008-06-12)	1-6
Y	Seite 4, Zeile 9 - Seite 5, Zeile 2; Abbildung 1 Seite 5, Zeilen 23,24	7

Y	US 3 140 854 A (BOYD LAWRENCE M) 14. Juli 1964 (1964-07-14) Anspruch 1; Abbildung 1	7

Y	CH 235 106 A (VOITH GMBH J M [DE]) 15. November 1944 (1944-11-15) Anspruch 1; Abbildungen 1-4	8,9

	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
12. Dezember 2012	19/12/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Król, Marcin

3

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	"Beacon Power Connects Flywheel Energy Storage System to California Wind Farm", , 12. März 2010 (2010-03-12), Seiten 1-3, XP055047605, Gefunden im Internet: URL:http://www.smartgridnews.com/artman/uploads/1/beacon_power_1.pdf [gefunden am 2012-12-12] Seite 1 -----	8,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/070039

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008068760 A2	12-06-2008	KEINE	
US 3140854 A	14-07-1964	KEINE	
CH 235106 A	15-11-1944	KEINE	