

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 426/2011
(22) Anmeldetag: 25.03.2011
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2013

(51) Int. Cl. : **H02P 9/00** (2006.01)
F03B 3/10 (2006.01)
F03B 13/06 (2006.01)
H02J 15/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0200081 A2 EP 1130764 A2

(73) Patentinhaber:
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
1040 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
BAUER CHRISTIAN DIPL.ING. DR.ING.
WIEN (AT)
DOUJAK EDUARD DIPL.ING. DR.
WIEN (AT)

(54) PUMPSPEICHERANLAGE

(57) Pumpspeichieranlage (1) mit einer zwischen einem Pumpbetrieb und einem Turbinenbetrieb umschaltbaren Pumpturbine (5), die mehrere in Strömungsrichtung aneinander anschließende, mit einer gemeinsamen Welle (7) verbundene Pumpturbinenmodule (8) aufweist, und mit einer mit der Welle gekoppelten Motor-Generator-Maschine (6), die mit einer Frequenzumrichtereinheit (9) zur Drehzahlsteuerung bzw. -regelung der Motor-Generator-Maschine (6) verbunden ist, wobei die Frequenzumrichtereinheit (9) einen modularen Aufbau mit einer Mehrzahl von parallelgeschalteten Frequenzumrichtern (10) aufweist und die Motor-Generator-Maschine (6) aus einzelnen, hintereinander geschalteten Motor-Generator-Modulen (11) aufgebaut ist.

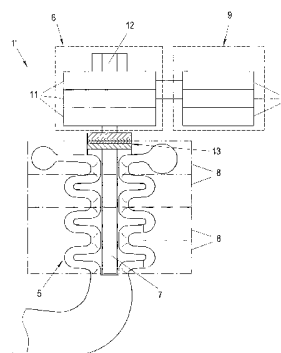


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Pumpspeichieranlage mit einer zwischen einem Pumpbetrieb und einem Generatorbetrieb umschaltbaren Pumpturbine, die mehrere in Strömungsrichtung aneinander anschließende, mit einer gemeinsamen Welle verbundene Pumpturbinenmodule aufweist, und mit einer mit der Welle gekoppelten Motor-Generator-Maschine, die mit einer Frequenzumrichtereinheit zur Drehzahlsteuerung bzw. -regelung der Motor-Generator-Maschine verbunden ist.

[0002] Zur Bewältigung der aktuellen Herausforderungen in der Energieversorgung ist es erforderlich, den Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen (Wind, Wasser, Sonne, Biomasse und Geothermie) wesentlich zu erhöhen. Hierdurch wird jedoch ein wachsender Anteil der Stromerzeugung schwer vorhersehbar. Pumpspeicherkraftwerke können einen Beitrag zum Ausgleich von Schwankungen zwischen verfügbarem und nachgefragtem Strom leisten. In Zeiten niedrigen Strombedarfs wird überschüssige Energie effizient gespeichert, indem Wasser aus einem Unterwasserbecken in ein Oberwasserbecken gepumpt wird; zur Abdeckung von Spitzenlasten wird aus der potentiellen Energie des hochgepumpten Wassers elektrische Energie gewonnen. Hierfür kann eine reversible, in beide Richtungen durchströmbare Pumpturbine verwendet werden, welche zwischen einem Pumpbetrieb und einem Turbinenbetrieb umschaltbar ist. Die Pumpturbine ist mit einer Motor-Generator-Maschine verbunden, welche je nach Betriebsmodus als Motor bzw. als Generator arbeitet. In jüngster Zeit wurden große Anstrengungen unternommen, dezentrale Pumpspeichieranlagen zu entwickeln, welche mit vorhandenen Netzen betrieben werden können. Ein wesentlicher Vorteil dezentraler Pumpspeichieranlagen liegt in der Abdeckung des Strombedarfs in örtlicher Nähe zum Verbraucher, wodurch die Stromnetze entlastet werden können. Die Anforderungen an die dezentralen Pumpspeichieranlagen können sich je nach Einsatzort beträchtlich unterscheiden; die Dimensionierung der Anlage hängt dabei insbesondere von dem Speichervolumen und der Fallhöhe zwischen Ober- und Unterwasserbecken ab. Zudem werden dezentrale Pumpspeichieranlagen vielfach an entlegenen Orten installiert. In der Praxis wird üblicherweise für jeden Einsatzort eine speziell angepasste Lösung entwickelt, was jedoch nachteiligerweise mit hohen Kosten verbunden ist.

[0003] Um Pumpspeichieranlagen an unterschiedliche Randbedingungen anpassen zu können, wurden bereits mehrstufige Pumpturbinen eingesetzt, welche eine effiziente Ausnutzung der verfügbaren Wassermenge ermöglichen. Eine derartige Pumpturbine weist mehrere aneinander anschließende Pumpstufen bzw. Pumpturbinenmodule auf, welche mit einer gemeinsamen Hauptwelle gekoppelt sind. Hierdurch kann der Einsatzbereich der Pumpspeichieranlage erweitert werden. Eine mehrstufige Pumpturbine ist beispielsweise aus der AT 319 868 bekannt, deren Inhalt hiermit durch Bezugnahme aufgenommen ist.

[0004] Die Motor-Generator-Maschine wird in bekannten Pumpspeichieranlagen üblicherweise als elektrisch erregte Drehstrommaschine (Synchron- oder Asynchronmaschine) ausgeführt, die direkt an das Stromnetz angeschlossen wird. Demnach arbeitet die Motor-Generator-Maschine mit der durch die Konstruktion und die Netzfrequenz vorgegebenen konstanten Drehzahl. Im Fall von Asynchronmaschinen ist durch den belastungsabhängigen Schlupf eine geringfügige Drehzahlvariation gegeben. Da Pumpturbinen als Pumpen ausgelegt werden, erreichen sie bei gleicher Drehzahl im Turbinenbetrieb nicht den optimalen Wirkungsgrad. Um den Wirkungsgrad im Turbinenbetrieb zu verbessern, wurden bereits drehzahlgeregelte Anlagen errichtet. Ein Beispiel hierfür ist das Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal in Deutschland, das bei einer Antriebsleistung von ca. 300 Megawatt betrieben wird. Der Maschinensatz verfügt dabei über eine doppeltgespeiste Asynchronmaschine, die mit einem rotorseitigen Frequenzumrichter verbunden ist. Der Frequenzumrichter ermöglicht eine Drehzahlregelung in einem vergleichsweise schmalen Regelbereich um die Nenndrehzahl (zwischen ca. -10% und +4% relativ zur Nenndrehzahl).

[0005] Die Drehzahlvariabilität der Motor-Generator-Maschine der Pumpspeichieranlage richtet sich vorrangig nach der Leistung des verwendeten Frequenzumrichters. Die Leistungselektronik von Frequenzumrichtern stellt jedoch mit steigenden Anforderungen an die Leistung einen

beträchtlichen Kostenfaktor dar. Somit wird die Drehzahlregelung üblicherweise auf einen engen Bereich beschränkt. Um eine größere Drehzahlvariabilität zu erzielen, könnte grundsätzlich ein speziell angepasster Hochleistungs-Frequenzumrichter verwendet werden, welcher jedoch mit hohem konstruktiven und finanziellen Aufwand verbunden ist. Die Kosten für derartige Leistungselektronik sind jedoch insbesondere für kleinere Pumpspeichieranlagen nicht zu rechtfertigen.

[0006] Aus der EP 0 200 081 A2 ist ein Pumpspeicherkraftwerk mit einer andersartigen Pumpturbine bekannt. Die Pumpturbine ist mit einer Motor-Generator-Maschine verbunden. Die Drehzahl der Motor-Generator-Maschine kann mittels einer Umrichtereinheit in einem begrenzten Bereich um die Synchrondrehzahl geregelt werden, um die für den Generator- bzw. Pumpbetrieb optimalen Drehzahlen abzudecken. In diesem Zusammenhang wird eine Umrichtereinheit mit mehreren Umrichtern vorgesehen, welche im Generatorbetrieb parallel und im Motorbetrieb in Serie geschaltet werden.

[0007] In der EP 1 130 764 A2 ist eine andersartige Kraftwerksanlage mit gleichartigen Untereinheiten beschrieben.

[0008] Demgegenüber besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine kompakte, variabel dimensionierbare Pumpspeichieranlage der eingangs angeführten Art zu schaffen, welche mit geringen Mehrkosten eine Drehzahlsteuerung bzw. -regelung der Motor-Generator-Maschine über einen weiten Regelbereich ermöglicht.

[0009] Diese Aufgabe wird bei der Pumpspeichieranlage der eingangs angeführten Art dadurch gelöst, dass die Frequenzumrichtereinheit einen modularen Aufbau mit einer Mehrzahl von parallelgeschalteten Frequenzumrichtern aufweist, wobei die Motor-Generator-Maschine aus einzelnen, hintereinander geschalteten Motor-Generator-Modulen aufgebaut ist.

[0010] Durch den modularen Aufbau der Frequenzumrichtereinheit können für die Frequenzumrichter vorteilhafterweise Standardkomponenten eingesetzt werden, welche sich durch niedrige Kosten und geringe Komplexität auszeichnen. Die Frequenzumrichter sind in Parallelschaltung zusammengeschaltet, so dass die Leistung der einzelnen Frequenzumrichter aufaddiert wird. Somit kann auf eine Verwendung von teuren, speziell an die jeweilige Pumpspeichieranlage anzupassenden Hochleistungs-Komponenten verzichtet werden. Die Modulbauweise der Frequenzumrichtereinheit trägt zudem zur Skalierbarkeit der Pumpspeichieranlage bei. In Abhängigkeit von den jeweiligen Randbedingungen wird eine Frequenzumrichtereinheit mit einer passenden Anzahl von parallelgeschalteten Frequenzumrichtern vorgesehen, welche eine Drehzahlvariabilität im vorgegebenen Regelbereich ermöglicht. Hierdurch können die maßgeblichen Parameter der Pumpspeichieranlage (Speichervolumen, Fallhöhe, etc.) gezielt berücksichtigt werden. Aufgrund der Drehzahlvariabilität der Motor-Generator-Maschine kann die Anlage sowohl im Pump- als auch im Turbinenbetrieb am optimalen Arbeitspunkt betrieben werden, wodurch der Wirkungsgrad gesteigert wird. Von besonderem Vorteil ist die Drehzahlregelung beim Umschalten zwischen Pump- und Turbinenbetrieb, da bei einer unregelmäßigen Betriebsweise auftretende Laststöße und Vibrationen beträchtlich reduziert werden können. Im Turbinenbetrieb ermöglicht die Drehzahlvariabilität eine Erweiterung des Einsatzbereichs. Zudem kann bei gleicher Fallhöhe eine größere Leistung erzielt werden. Weiters wird ein gleichmäßiger Kennlinienverlauf erhalten. Darüber hinaus kann eine Veränderung der Speicherhöhe effizient ausgeglichen werden. Im Pumpbetrieb bewirkt die Drehzahlvariabilität der Motor-Generator-Maschine ein verbessertes Regelverhalten. Demnach kann die drehzahlgeregelte Motor-Generator-Maschine stets am geeigneten Arbeitspunkt betrieben werden, der je nach Betriebsmodus (Pump- oder Turbinenbetrieb), Auslastung (Voll- oder Teillastbetrieb) und gegebener Stauhöhe laufend angepasst wird. Die mehrstufige Bauweise der Pumpturbine hat andererseits den Vorteil, dass größere Förder- bzw. Fallhöhen umsetzbar sind. Zudem wird eine kompakte Bauweise ermöglicht, da der Durchmesser des Laufrads der Pumpturbine gegenüber einer einstufigen Ausführung deutlich verkleinert werden kann. Durch den verringerten Raumbedarf kann zudem die Handhabung des Maschinensatzes beim Aufbau vereinfacht werden; weiters können die Kosten für die Herstellung und Montage der Pumpturbine reduziert werden. Die Modulbauweise von Frequenzumrichtereinheit und Pumpturbine bildet daher die Grundlage für eine Produktion

der Pumpspeichieranlage in Kleinserie, wodurch insbesondere auch die Errichtung kleinerer, dezentraler Pumpspeichieranlagen wirtschaftlich rentabel wird. Zur Anpassung der Motor-Generator-Maschine an einen vorgegebenen Leistungsbereich ist die Motor-Generator-Maschine aus einzelnen, hintereinander geschalteten Motor-Generator-Modulen aufgebaut. Die Vorteile einer solchen Modulbauweise liegen einerseits in einer Verringerung der Herstellungskosten durch Verwendung von Standardkomponenten. Zudem kann der Leistungsbereich der Motor-Generator-Maschine durch Hinzufügen bzw. Entfernen einzelner Module gezielt an das gewünschte Leistungsspektrum, welches beispielsweise vom Speichervolumen und der Fallhöhe eines bestimmten Kraftwerks abhängt, angepasst werden. Die Motor-Generator-Maschine, zweckmäßigerweise eine Drehfeldmaschine, kann aus einer variablen Anzahl einzelner Stator- bzw. Rotorscheiben aufgebaut sein, welche modulartig verbunden sind. Um die Variabilität der Pumpspeichieranlage zu verbessern, kann die Welle der Pumpturbine verlängert sein, so dass Platz für zusätzliche Motor-Generator-Module geschaffen wird.

[0011] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass jeder Frequenzumrichter mit genau einem Motor-Generator-Modul der Motor-Generator-Maschine verbunden ist. Demnach wird jedem Modul der Motor-Generator-Maschine ein eigener Frequenzumrichter zugeordnet. Die einzelnen Frequenzumrichter, ebenso wie die Module der Motor-Generator-Maschine, weisen zweckmäßigerweise ein im Wesentlichen identes Leistungsspektrum auf. Die Module der Motor-Generator-Maschine sind vorzugsweise durch einzelne Wicklungssysteme einer Drehfeldmaschine gegeben, die jeweils über einen eigenen Anschluss mit den zugehörigen Frequenzumrichtern verbunden sind.

[0012] Zur Verbindung der Frequenzumrichtereinheit mit der Motor-Generator-Maschine können die Frequenzumrichter alternativ über eine gemeinsame Anschlussleitung mit der Motor-Generator-Maschine verbunden sein. Demnach weist die modular aufgebaute Frequenzumrichtereinheit einen gemeinsamen Ausgang auf, der mit entsprechenden Anschlussklemmen der Motor-Generator-Maschine verbunden ist.

[0013] Um die Drehzahl der Motor-Generator-Maschine mit standardmäßig verfügbaren Frequenzumrichtern über einen großen Drehzahlbereich steuern bzw. regeln zu können, ist es günstig, wenn die Frequenzumrichtereinheit eine Mehrzahl insbesondere identer Frequenzumrichter mit einer Leistung von jeweils zwischen 0,5 Megawatt und 5 Megawatt aufweist. Die Leistungselektronik der Frequenzumrichter weist, nach heutigem Stand der Technik, insbesondere einen IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor, Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode) oder einen Thyristor auf.

[0014] Zur optimalen Energieumwandlung im Turbinen- bzw. Pumpbetrieb ist es von Vorteil, wenn die Frequenzumrichtereinheit zur Steuerung bzw. Regelung der Drehzahl der Motor-Generator-Maschine in einem Bereich zwischen im Wesentlichen 0% und 110%, vorzugsweise 100%, im Verhältnis zur Nenndrehzahl der Pumpturbine, eingerichtet ist. Die bevorzugte Ausführung mit einer im Wesentlichen stufenlos zwischen Stillstand und zumindest der Nenndrehzahl der Pumpturbine Steuer- bzw. regelbaren Motor-Generator-Maschine benötigt einen sogenannten "full-scale"-Umrichter, welcher die vollständige Bemessungsleistung der Motor-Generator-Maschine durch die Leistungselektronik zu- bzw. abführen kann; hierfür wird die modular aufgebaute Frequenzumrichtereinheit mit einer entsprechenden Anzahl von parallelgeschalteten Frequenzumrichtern ausgestattet.

[0015] Im Hinblick auf den bevorzugten Einsatz der Pumpspeichieranlage als dezentrales Kraftwerk ist es günstig, wenn die Motor-Generator-Maschine eine Leistung von zwischen 0,5 Megawatt und 75 Megawatt, vorzugsweise zwischen 5 Megawatt und 15 Megawatt, aufweist. Das Leistungsspektrum der Pumpspeichieranlage liegt somit deutlich unter jenen von konventionellen Pumpturbinen. Der modulare Aufbau von Frequenzumrichtereinheit und Pumpturbine, vorzugsweise auch der Motor-Generator-Maschine, mit einzelnen, variabel verbindbaren Grundelementen ermöglicht einen effizienten Betrieb im bevorzugten Leistungsbereich von 5 Megawatt bis 15 Megawatt, welcher derzeit aufgrund der hohen Maschinenkosten und der speziellen Anforderungen nicht bzw. lediglich in geringem Ausmaß abgedeckt wird.

[0016] Zur Erzielung der bevorzugten Leistung mit einer Motor-Generator-Maschine in Modulbauweise ist es von Vorteil, wenn die Motor-Generator-Maschine zwischen 1 und 5 Motor-Generator-Module mit einer Gesamtleistung von bis zu 75 Megawatt aufweist. Jedes Motor-Generator-Modul weist vorzugsweise eine Leistung von zwischen 0,5 Megawatt und 15 Megawatt auf.

[0017] Eine bevorzugte Ausführungsform der Pumpspeicheranlage sieht als Motor-Generator-Maschine eine Synchronmaschine, insbesondere mit Permanentmagnetenerregung, vor. Hierfür wird zweckmäßigerweise eine Radialflussmaschine mit Permanentmagnetrotor verwendet, die vorzugsweise in einem Drehzahlbereich um 1000 Umdrehungen pro Minute arbeitet. Die Radialflussmaschine ist vorzugsweise in Modulbauweise mit einzelnen Rotor- bzw. Statorscheiben ausgeführt, deren Anzahl sich nach der vorgegebenen Gesamtleistung der Motor-Generator-Maschine richtet. Die Rotor- bzw. Statorscheiben können einzeln hinzugefügt bzw. entfernt werden, um die Gesamtleistung der Rotor-Generator-Maschine anzupassen. Zum effizienten Betrieb von Pumpspeicheranlagen mit großen Fallhöhen und kleinen Durchflüssen ist es günstig, wenn als Pumpturbine eine Francis-Maschine vorgesehen ist. Indem die Vorteile einer drehzahlregelbaren Motor-Generator-Maschine mit den Vorteilen der mehrstufigen Bauweise der Pumpturbine kombiniert werden, kann die Pumpspeicheranlage am unteren Randbereich der Schnellläufigkeit (große Fallhöhen bei geringem Durchfluss) wirtschaftlich betrieben werden.

[0018] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, noch weiter erläutert.

[0019] Im Einzelnen zeigen in der Zeichnung:

- [0020]** Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Pumpspeicherkraftwerks mit einem Ober- und einem Unterwasserbecken, und mit einer Pumpspeicheranlage, die eine mit einer Motor-Generator-Maschine verbundene mehrstufige Pumpturbine aufweist;
- [0021]** Fig. 2 eine schematische Ansicht zum Aufbau der Pumpspeicheranlage gemäß Fig. 1, wobei die Motor-Generator-Maschine mit einer modular aufgebauten Frequenzumrichtereinheit zur Drehzahlsteuerung der Motor-Generator-Maschine verbunden ist;
- [0022]** Fig. 3a schematisch eine erste Ausführungsform zur Verbindung der modular aufgebauten Frequenzumrichtereinheit mit der Motor-Generator-Maschine; und
- [0023]** Fig. 3b schematisch eine weitere Ausführungsform zur Verbindung der Frequenzumrichtereinheit mit der Motor-Generator-Maschine.

[0024] In Fig. 1 ist schematisch ein Pumpspeicherkraftwerk 1 gezeigt, welches ein Oberwasserbecken 2 mit einer Stauhöhe h und ein Unterwasserbecken 3 aufweist, die über eine Druckleitung 4 mit einer Fallhöhe H miteinander verbunden sind. Das Pumpspeicherkraftwerk 1 dient zur Energiespeicherung, indem Wasser durch die Druckleitung 4 vom Unterwasserbecken 3 in das Oberwasserbecken 2 gepumpt wird. Zur Rückgewinnung der elektrischen Energie wird Wasser vom Oberwasserbecken 2 über eine Turbine abgearbeitet, um einen Generator anzutreiben. Somit ist ein reversibler Anlagenbetrieb erforderlich, welcher bei der gezeigten Ausführungsform durch eine Pumpspeicheranlage 1' mit einer Pumpturbine 5 erzielt wird, die zwischen einem Pumpbetrieb und einem Turbinenbetrieb umschaltbar ist. Bei der Pumpturbine 5 handelt es sich um eine Strömungsmaschine, die in beiden Richtungen durchströmt werden kann und je nach Strömungsrichtung als Pumpe bzw. Turbine arbeitet. Die Pumpturbine 5 ersetzt somit einen Maschinensatz mit getrennter Pump- bzw. Turbineneinrichtung. Die Fähigkeit der Pumpspeicheranlage 1', gezielt elektrische Energie aufzunehmen bzw. abzugeben, wird zur Regelung des Stromnetzes genutzt, um Spitzenlasten und Verbrauchseinbrüche auszugleichen. Zur Umwandlung der Strömungsenergie ist die Pumpturbine 5 mit einer Motor-Generator-Maschine 6 verbunden, welche im Pumpbetrieb als Motor und im Turbinenbetrieb als Generator arbeitet. Als Motor-Generator-Maschine 6 ist vorzugsweise eine Synchronmaschine mit Permanentmagnetenerregung (Radialflussmaschine) vorgesehen.

[0025] In Fig. 2 ist eine schematische Ansicht der Pumpspeicheranlage 1' gezeigt. Die Pumpturbine 5 weist mehrere (im gezeigten Beispiel vier) in Strömungsrichtung aneinander anschließende, an einer gemeinsamen, senkrecht angeordneten Welle 7 arbeitenden Pumpstufen bzw. Pumpturbinenmodule 8 auf. Die Anzahl der Pumpturbinenmodule 8 richtet sich nach der gewünschten Leistung bzw. der zu überwindenden Stau- bzw. Fallhöhe. Zum (an sich bekannten) Aufbau der Pumpturbine 5 wird auf die eingangs angeführte AT 319 868 verwiesen, welche eine bevorzugte Ausführung der Pumpturbine 5 in der Art einer Francis-Maschine zeigt.

[0026] Es wurden bereits Pumpspeicherkraftwerke 1 errichtet, welche eine drehzahlgeregelte Motor-Generator-Maschine 6 aufweisen, um die unterschiedlichen Anforderungen im Pumpbetrieb bzw. im Turbinenbetrieb der Pumpturbine 5 zu berücksichtigen. Hierfür ist die Motor-Generator-Maschine 6 mit einer Frequenzumrichtereinheit 9 verbunden. Die erzielbare Drehzahlvariabilität wird durch die Leistung der verwendeten Frequenzumrichtereinheit 9 bestimmt, welche einen entsprechenden Anteil der Leistung der Motor-Generator-Maschine 6 aufnimmt bzw. abgibt. Um die Drehzahl der Motor-Generator-Maschine 6 über einen vergleichsweise großen Drehzahlbereich regeln bzw. steuern zu können, könnte grundsätzlich eine speziell angepasste Hochleistungs-Frequenzumrichtereinheit 9 zum Einsatz kommen, welche das geforderte Leistungsspektrum aufweist. Abgesehen von den wesentlich höheren Baukosten müssten jedoch aufwendige Adaptierungen der Frequenzumrichtereinheit 9 durchgeführt werden, welche für einen Einsatz bei kleineren, dezentralen Pumpspeicheranlagen 1' nicht zu rechtfertigen wären.

[0027] Demgegenüber weist die Frequenzumrichtereinheit 9 der gezeigten Ausführung einen modularen Aufbau mit einer Mehrzahl von parallelgeschalteten Frequenzumrichtern 10 auf. Die zur Erzielung der Drehzahlvariabilität notwendige Leistung wird daher auf einzelne Frequenzumrichter 10 aufgeteilt, an die somit geringere Leistungsanforderungen gestellt werden. Die Frequenzumrichter 10 sind in Parallelschaltung angeordnet, so dass die Leistung der einzelnen Frequenzumrichter 10 aufaddiert wird. Somit können für die Frequenzumrichter 10 kostengünstige Standardkomponenten verwendet werden, die eine Leistung von jeweils bis zu ca. 5 Megawatt, nach heutigem Stand der Technik, aufweisen können. Zur Erzielung eines optimalen Wirkungsgrads im Pump- bzw. im Turbinenbetrieb der Pumpturbine 5 ist die Drehzahl der Motor-Generator-Maschine 6 bevorzugt zwischen 0% und 110% der Nenndrehzahl der Pumpturbine einstellbar, wofür die Frequenzumrichtereinheit 9 die gesamte Leistung der Motor-Generator-Maschine 6 aufbringen muss. Für eine Leistung der Motor-Generator-Maschine 6 von beispielsweise 10 Megawatt sind hierfür, je nach Leistungsklasse, 2 bis 5 Frequenzumrichter 10 erforderlich.

[0028] Wie aus Fig. 2 weiters ersichtlich, ist die Motor-Generator-Maschine 6 bevorzugt in Modulbauweise aus einzelnen, hintereinander geschalteten Motor-Generator-Modulen 11 aufgebaut. Die Module 11 sitzen auf einer Motorwelle 12, welche über eine starre mechanische Kupplung 13, beispielsweise eine Flanschkupplung, mit der Welle 7 der Pumpturbine 5 verbunden ist. Die gezeigte Ausführung der Pumpspeicheranlage 1' kann somit auf einfache Weise an die Rahmenbedingungen des Einsatzortes angepasst werden, indem je nach geforderter Gesamtleistung der Pumpspeicheranlage 1' eine entsprechende Anzahl von Motor-Generator-Modulen 11 eingesetzt wird, die jeweils eine Leistung von vorzugsweise 5 Megawatt aufbringen.

[0029] In den Fig. 3a, 3b ist jeweils eine bevorzugte Ausführungsform zur Verbindung der Frequenzumrichtereinheit 9 mit der Motor-Generator-Maschine 6 gezeigt.

[0030] Gemäß der Ausführungsform von Fig. 3a erfolgt eine Parallelschaltung von beispielsweise zwei Frequenzumrichtern 10 gleicher Leistung direkt außerhalb der Motor-Generator-Maschine 6. Die Frequenzumrichtereinheit 9 weist eine gemeinsame Anschlussleitung 14 auf, welche an das Wicklungssystem der Motor-Generator-Maschine 6 angeschlossen ist. Bei dieser Ausführung kann somit die Motor-Generator-Maschine 6 durch ein einziges Modul 11 gebildet sein.

[0031] Gemäß der Ausführungsform von Fig. 3b weist die Motor-Generator-Maschine 6 eine

der Anzahl der Frequenzumrichter 10 entsprechende Anzahl von parallelgeschalteten Motor-Generator-Modulen 11 auf, wobei jedes Motor-Generator-Modul 11 über eine eigene Leitung 14' mit jeweils einem Frequenzumrichter 10 verbunden ist.

[0032] Bei Radialflussmaschinen ist eine Skalierung der Leistung beispielsweise durch Erhöhung der axialen Rotorabmessungen möglich. Die damit verbundene Erhöhung der induzierten Spannung bei gleicher Windungszahl und Drehzahl kann durch Umschaltung der Wicklungszweige von seriell auf parallel kompensiert werden. Jeder dieser parallelen Wicklungszweige kann mit einem eigenen Frequenzumrichter 10 verbunden werden.

Patentansprüche

1. Pumpspeicheranlage (1) mit einer zwischen einem Pumpbetrieb und einem Turbinenbetrieb umschaltbaren Pumpturbine (5), die mehrere in Strömungsrichtung aneinander anschließende, mit einer gemeinsamen Welle (7) verbundene Pumpturbinenmodule (8) aufweist, und mit einer mit der Welle (7) gekoppelten Motor-Generator-Maschine (6), die mit einer Frequenzumrichtereinheit (9) zur Drehzahlsteuerung bzw. -regelung der Motor-Generator-Maschine (6) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenzumrichtereinheit (9) einen modularen Aufbau mit einer Mehrzahl von parallelgeschalteten Frequenzumrichtern (10) aufweist, wobei die Motor-Generator-Maschine (6) aus einzelnen, hintereinander geschalteten Motor-Generator-Modulen (11) aufgebaut ist.
2. Pumpspeicheranlage (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Frequenzumrichter (10) mit genau einem Motor-Generator-Modul (11) der Motor-Generator-Maschine (6) verbunden ist.
3. Pumpspeicheranlage (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenzumrichter (10) über eine gemeinsame Anschlussleitung (14) mit der Motor-Generator-Maschine (6) verbunden sind.
4. Pumpspeicheranlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenzumrichtereinheit (9) eine Mehrzahl insbesondere identer Frequenzumrichter (10) mit einer Leistung von jeweils zwischen 0,5 Megawatt und 5 Megawatt aufweist.
5. Pumpspeicheranlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenzumrichtereinheit (9) zur Steuerung bzw. Regelung der Drehzahl der Motor-Generator-Maschine (6) in einem Bereich zwischen 0% und 110%, vorzugsweise 100%, im Verhältnis zur Nenndrehzahl der Pumpturbine (5), eingerichtet ist.
6. Pumpspeicheranlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Motor-Generator-Maschine (6) eine Leistung von zwischen 0,5 Megawatt und 75 Megawatt, vorzugsweise zwischen 5 Megawatt und 15 Megawatt, aufweist.
7. Pumpspeicheranlage (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Motor-Generator-Maschine (6) zwischen 1 und 5 Motor-Generator-Module (10) mit einer Gesamtleistung von bis zu 75 Megawatt aufweist.
8. Pumpspeicheranlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Motor-Generator-Maschine (6) eine Synchronmaschine, insbesondere mit Permanentmagnetenerregung, vorgesehen ist, die vorzugsweise mit einer Pumpturbine (5) in Form einer Francis-Maschine gekoppelt ist.
9. Pumpspeicheranlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Motorwelle (12) der Motor-Generator-Maschine (6) über eine starre Kupplung (13), insbesondere eine Flanschkupplung, mit der Welle (7) der Pumpturbine (5) verbunden ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

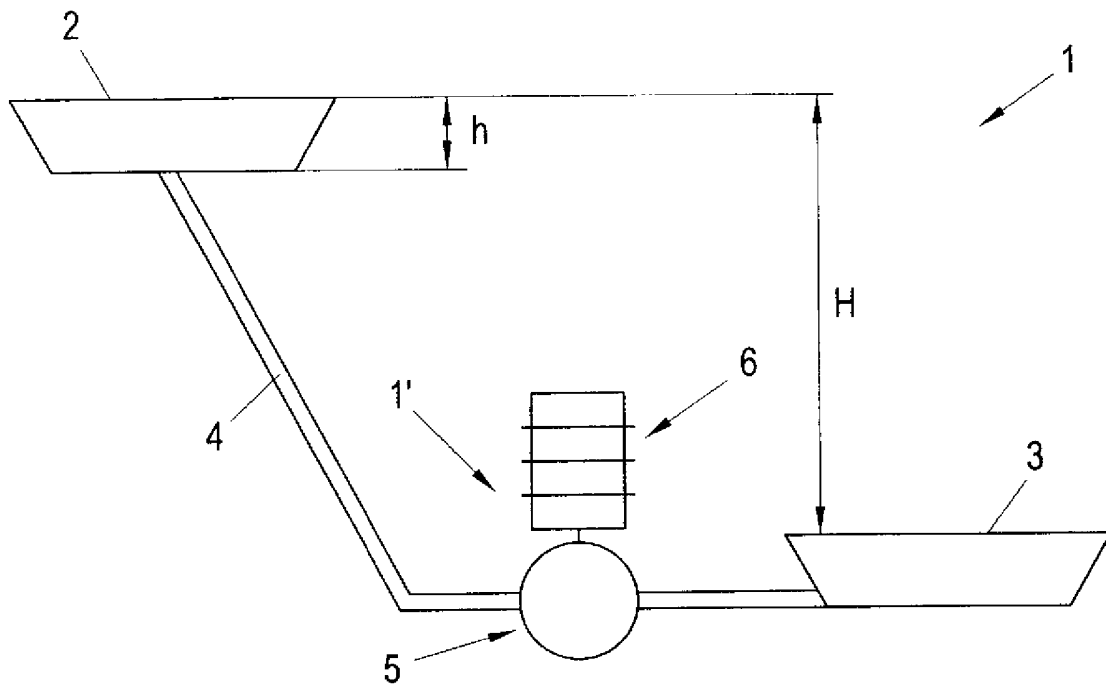


Fig. 1

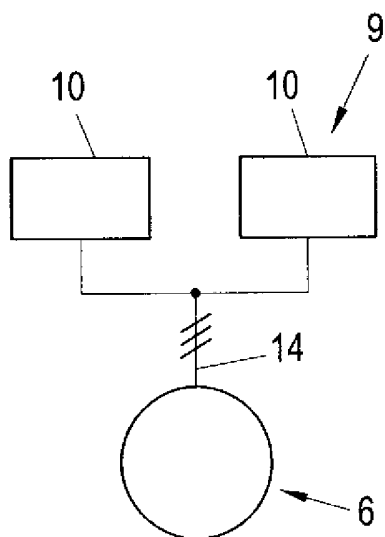


Fig. 3a

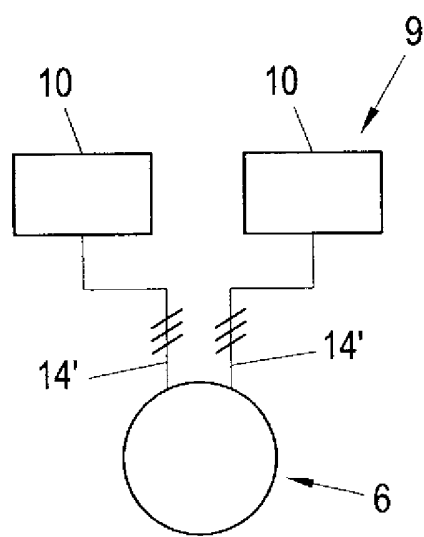


Fig. 3b

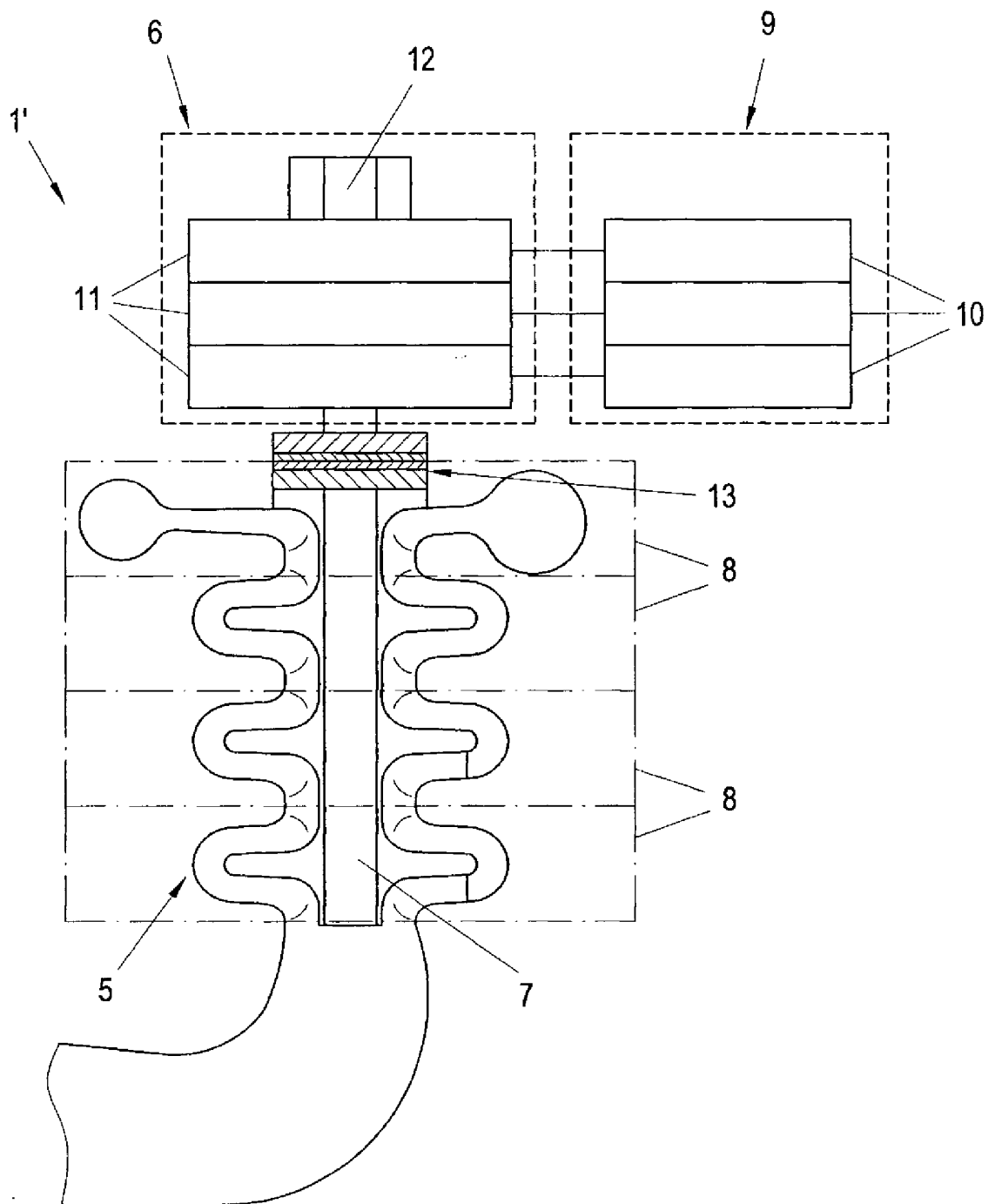


Fig. 2