

(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
06. September 2019 (06.09.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/166202 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F03B 13/06 (2006.01) *F03B 15/00* (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/052873

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. Februar 2019 (06.02.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 104 518.2
28. Februar 2018 (28.02.2018) DE

(71) Anmelder: VOITH PATENT GMBH [DE/DE]; St. Pöl-
tener Str. 43, 89522 Heidenheim (DE).

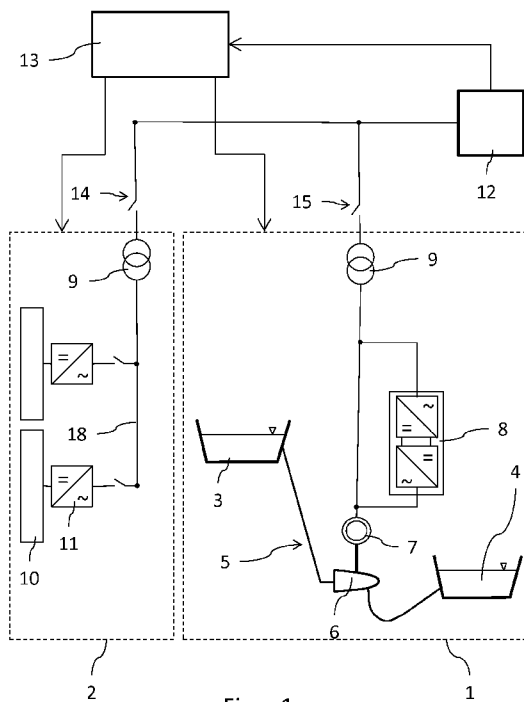
(72) Erfinder: LOCHSCHMIDT, Klaus; Blankenhornstr. 9,
89233 Neu-Ulm-Burlafingen (DE).

(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, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,
SA, 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, ST,

(54) Title: COMBINED POWER PLANT AND METHOD FOR OPERATION

(54) Bezeichnung: KOMBINIERTES KRAFTWERK UND VERFAHREN ZUM BETRIEB



Figur 1

(57) Abstract: The invention relates to a combined power plant for attach-
ment to a transmission network (12), comprising an upper water basin (3),
a lower water basin (4), a waterway (5) which is arranged in a connecting
manner between the upper water basin (3) and the lower water basin (4),
a reversible pump turbine (6) arranged in the waterway (5), a synchronous
machine (7) connected to the pump turbine (6), a photovoltaic module (10)
and an externally commutated converter (11) connected thereto, wherein the
synchronous machine is connected to the transmission network (12) via a
transformer (9) and a power switch (15), and the power plant comprises a
starting converter (8) for starting up the synchronous machine (7) and a bus
bar (18), to which the externally commutated converter (11) is connected
via a switch, and wherein the bus bar (18) is connected to the transmission
network (12) via a transformer (9), and wherein the power plant has a power
controller (13) which is designed such that the power controller is able to
control all the switches of the power plant, the starting converter (8), the
synchronous machine (7) and the reversible pump turbine (6).

(57) Zusammenfassung: Kombiniertes Kraftwerk zum Anbinden an ein
Übertragungsnetz (12), umfassend ein Oberwasserbecken (3), ein Unter-
wasserbecken (4), einen Wasserweg (5), welcher zwischen dem Oberwas-
serbecken (3) und dem Unterwasserbecken (4) verbindend angeordnet ist,
eine im Wasserweg (5) angeordnete reversible Pump turbine (6), eine mit der
Pumpturbine (6) verbundene Synchronmaschine (7), ein Photovoltaikmod-
ul (10) und ein damit verbundener fremdgeführter Umrichter (11), wobei
die Synchronmaschine über einen Transformator (9) und einen Leistungs-
schalter (15) mit dem Übertragungsnetz (12) verbunden ist, und das Kraft-
werk einen Anfahrumsrichter (8) zum Anfahren der Synchronmaschine (7)
und eine Sammelschiene (18) umfasst, mit welcher der fremdgeführte Um-
richter (11) über einen Schalter verbunden ist, und wobei die



WO 2019/166202 A1

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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Sammelschiene (189 über einen Transformator (9) mit dem Übertragungsnetz (12) verbunden ist, und wobei das Kraftwerk einen Leistungsregler (13) umfasst, welcher so ausgebildet ist, dass er alle Schalter des Kraftwerks, den Anfahrumsrichter (8), die Synchronmaschine (7) und die reversible Pumpturbine (6) steuern kann.

Kombiniertes Kraftwerk und Verfahren zum Betrieb

Die vorliegende Erfindung betrifft ein kombiniertes Kraftwerk, welches die Bestandteile eines Photovoltaikparks (PVP) und eines Pumpspeicherkraftwerks umfasst (PSK). Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betrieb eines solchen kombinierten Kraftwerks.

Ein kombiniertes Kraftwerk umfassend die Bestandteile eines PVPs und eines PSKs sind aus dem Stand der Technik bekannt. Es sei hierzu auf die WO 2009/118572 A1 verwiesen. Das darin beschriebene kombinierte Kraftwerk ist mit hohen Investmentkosten verbunden, da zwei Druckrohrleitungen und zwei hydraulische Maschinensätze benötigt werden. Außerdem ist das kombinierte Kraftwerk so ausgelegt, dass die Wasserturbine kontinuierlich im Betrieb ist, und die Wasserpumpe die ganze Zeit läuft, wenn Solarstrom produziert wird.

Der Erfinder hat sich die Aufgabe gestellt ein gattungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk anzugeben, das einfacher aufgebaut und daher kostengünstiger ist. Außerdem kommt das erfindungsgemäße kombinierte Kraftwerk mit kürzeren Betriebszeiten der zum PSK gehörigen Komponenten aus, was zu einer längeren Lebensdauer derselben führt.

Die gestellte Aufgabe wird durch ein kombiniertes Kraftwerk mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den von Anspruch 1 abhängigen Unteransprüchen. Ein Verfahren zum Betrieb eines erfindungsgemäßen virtuellen Kraftwerks ergibt sich aus dem unabhängigen Verfahrensanspruch. Vorteilhafte Ausführungsformen des Betriebsverfahrens ergeben sich aus den abhängigen Verfahrensansprüchen.

Zur Lösung der Aufgabe hat sich der Erfinder von dem Gedanken leiten lassen, dass ein gattungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk, dann besonders einfach aufgebaut sein wird, wenn es sich möglichst wenig von den bereits separat

existierenden PVPs und PSKs in ihrer jeweils einfachsten Ausführungsform unterscheidet. Ein einfach aufgebauter PVP umfasst wenigstens ein Solarmodul, welches mit einem fremdgeführten Umrichter und einem Transformator ans Netz angeschlossen ist. Ein einfach aufgebautes PSK umfasst ein Oberwasserbecken, ein Unterwasserbecken, einen Wasserweg, welcher die Becken verbindet, eine reversible Pumpturbine, welche im Wasserweg angeordnet ist, und einen Motorgenerator, welcher mit der Pumpturbine verbunden und als Synchronmaschine ausgeführt ist. Das Pumpspeicherkraftwerk umfasst ferner einen Anfahrumrichter zum Anfahren der Pumpturbine im Pumpenmodus und einen Transformator, mit dem die Synchronmaschine ans Netz angebunden ist.

Die erfindungsgemäße Lösung wird nachfolgend anhand von Figuren erläutert. Darin ist im Einzelnen folgendes dargestellt:

- Figur 1 Erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk in einer ersten Ausführungsform;
- Figur 2 Erfindungsgemäßes Verfahren zum Betrieb eines erfindungsgemäßen kombinierten Kraftwerks gemäß Figur 1;
- Figur 3 Erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk in einer zweiten Ausführungsform;
- Figur 4 Erfindungsgemäßes Verfahren zum Betrieb eines erfindungsgemäßen kombinierten Kraftwerks gemäß Figur 3 oder Figur 5;
- Figur 5 Erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk in einer dritten Ausführungsform.

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung ein erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk in einer ersten Ausführungsform. Das Kraftwerk umfasst die Bestandteile von einem PSK, welches mit 1 bezeichnet ist, und die Bestandteile von einem PVP, welcher mit 2 bezeichnet ist. Dabei sind das PSK 1 und der PVP 2 rein gedankliche Konstrukte (daher auch nur gestrichelt dargestellt), und die Zuordnung der einzelnen Bestandteile des kombinierten Kraftwerks zum PSK 1 und PVP 2 in den Figuren und in der Beschreibung geschieht lediglich der Übersichtlichkeit halber und zur Erleichterung der Beschreibung des kombinierten Kraftwerkes. Bei manchen Elementen ist die Zuordnung auch rein willkürlich, wie z.B. der Leistungsschalter 17 in Figur 5.

Das PSK 1 umfasst ein Oberwasserbecken 3 und ein Unterwasserbecken 4, einen Wasserweg 5, welcher das Oberwasserbecken 3 mit dem Unterwasserbecken 4 verbindet, eine im Wasserweg 5 angeordnete reversible Pumpturbine 6, eine Synchronmaschine 7, welche mit der Pumpturbine 6 verbunden ist. Ferner umfasst das PSK 1 einen Anfahrumrichter 8 zum Anfahren der Pumpturbine 6. Der Übersichtlichkeit halber sind benötigte Schalter zum Zuschalten des Anfahrumrichters 8 in den Figuren nicht dargestellt. Dem Fachmann ist die Anbindung eines Anfahrumrichters 8 jedoch hinlänglich bekannt. Ferner umfasst das PSK 1 einen Transformator 9, welcher mit der Synchronmaschine 7 verbunden ist und die Schnittstelle des PSKs 1 für die aufgenommene oder abgegebene elektrische Leistung darstellt. Der Transformator 9 transformiert die von der Synchronmaschine gelieferte Wechselspannung auf das Niveau des Übertragungsnetzes.

Der PVP 2 umfasst wenigstens ein Photovoltaikmodul. Figur 1 zeigt beispielhaft zwei Photovoltaikmodule, von denen eines mit 10 bezeichnet ist. In der Regel besitzen große PVPs eine Vielzahl solcher Module. Jedes Photovoltaikmodul 10 ist mit einem fremdgeführten Umrichter verbunden, von denen einer mit 11 bezeichnet ist. Jeder Umrichter 11 ist über einen separaten Schalter mit einer Sammelschiene 18 verbunden. Der PVP 2 umfasst einen Transformator 9, welcher die von den Umrichtern 11 gelieferte Wechselspannung auf das Niveau des

Übertragungsnetzes transformiert. Der Transformator 9 stellt die Schnittstelle des PVPs 2 für die abgegebene elektrische Leistung dar.

Die beiden Transformatoren 9 vom PSK 1 und vom PVP 2 sind jeweils über die Leistungsschalter 14 und 15 mit dem Übertragungsnetz verbunden, welches schematisch durch einen mit 12 bezeichneten Kasten dargestellt wird. Der Leistungsschalter 14 ist dabei optional, da der PVP 2 auch durch die Schalter der einzelnen Umrichter 11 komplett vom Netz getrennt werden kann.

Das kombinierte Kraftwerk verfügt ferner über einen Leistungsregler, welcher mit 13 bezeichnet ist. Der Leistungsregler 13 nimmt Anforderungen durch das Übertragungsnetz entgegen, was durch den Pfeil vom Übertragungsnetz 12 zum Leistungsregler 13 angedeutet ist. Im Prinzip können die Anforderungen auch von anderer Stelle kommen, z.B. von der nationalen Netzentur, oder die Anforderungen können auch vom Leistungsregler 13 selbst auf der Basis von aus dem Internet abgerufenen Informationen (z.B. den aktuellen Preisen an der Strombörse) beruhen. Anhand dieser Anforderungen steuert der Leistungsregler 13 sowohl die steuerbaren Bestandteile des PSKs 1 als auch die des PVP 2 (angedeutet durch Pfeile) als auch die Schalter 14 und 15 (nicht weiter angedeutet).

Wie im Detail der Leistungsregler 13 das kombiniert Kraftwerk steuert, hängt vom jeweilig gültigen nationalen Vergütungsschema ab. Außerdem können die national unterschiedlichen grid codes ebenfalls das Steuerverhalten des Leistungsreglers 13 beeinflussen. Einen weiteren Einfluss haben der jeweils in einem Land oder einer Region vorhandene Park von Stromerzeugern und der Ausbauzustand des Übertragungsnetzes. Weiterhin können Notsituationen, wie zum Beispiel der Ausfall von einem bedeutenden Stromerzeuger im Übertragungsnetz, zu einem abgewandelten Verhalten des kombinierten Kraftwerks führen. Daher adressiert das erfindungsgemäße Betriebsverfahren eines solchen kombinierten Kraftwerks nur zwei grundlegende Fälle:

1. Der Leistungsregler 13 setzt fest, dass die gesamte elektrische Leistung (P_g), die das kombinierte Kraftwerk ans Netz abgeben soll, kleiner als die gesamte momentan vom PVP 2 erzeugte elektrische Leistung (P_v) ist, d.h. es soll $P_g < P_v$ sein.

5

2. Der Leistungsregler 13 setzt fest, dass die gesamte elektrische Leistung (P_g), die das kombinierte Kraftwerk ans Netz abgeben soll, wenigsten so groß ist, wie die gesamte momentan vom PVP 2 erzeugte elektrische Leistung (P_v), d.h. es soll $P_g \geq P_v$ sein.

10

Wie der Leistungsregler 13 zu diesen Festsetzungen kommt, hängt in der Regel von einer komplizierten Logik ab, die durch die oben genannten Einflussfaktoren gespeist wird, und daher je nach der territorialen Lage des kombinierten Kraftwerks unterschiedlich sein wird.

15

Der Fall 1 umfasst dabei auch den Zustand, dass $P_g < 0$ ist, d.h. dass elektrische Leistung aus dem Netz aufgenommen werden soll. Es sei erwähnt, dass das erfindungsgemäße kombinierte Kraftwerk sich auch dadurch vom zitierten Stand der Technik (WO 2009/118572 A1) unterscheidet, dass es Leistung aus dem Netz aufnehmen kann.

20

Figur 2 zeigt die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb eines kombinierten Kraftwerks gemäß Figur 1. Im mit V1 bezeichneten Schritt setzt der Leistungsregler fest, ob $P_g < P_v$ oder $P_g \geq P_v$ sein soll. Im ersten Fall werden die mit V2 und V3 bezeichneten Schritte separat oder in Kombination ausgeführt. Dabei umfasst V2 das Trennen vom Netz 12 von wenigstens einem Photovoltaikmodul 10 und V3 das Pumpen der Pumpturbine 6, wobei die Synchronmaschine 7 synchron mit der Netzfrequenz arbeitet. Es ist klar, dass im Schritt V3 der Schalter 15 geschlossen sein muss. Im zweiten Fall werden die mit V5 und V6 bezeichneten Schritte separat oder in Kombination ausgeführt. Dabei umfasst V5 das Verbinden mit dem Netz 12 von allen Photovoltaikmodulen 10 und V6 das Turbinieren der Pumpturbine 6, wobei die Synchronmaschine 7 synchron

25

30

mit der Netzfrequenz arbeitet. Es ist klar, dass im Schritt V5 der Schalter 14 und im Schritt V6 der Schalter 15 geschlossen sein müssen.

Im Folgenden sollen nun zur Illustration ein spezieller Fall des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb eines kombinierten Kraftwerks gemäß Figur 1 aufgezeigt werden. Zum Verständnis ist vorab zu erwähnen, dass das Pumpen der Pumpturbine 6 in Schritt V3 mit einer festen Pumpleistung (P_p) erfolgen muss, da die Synchronmaschine 7 synchron mit der Netzfrequenz arbeitet und sich somit eine fixe Drehfrequenz der Pumpturbine 6 ergibt.

Es soll angenommen werden, dass ein Land über einen hohen Anteil von solar erzeugtem Strom verfügt. Bei zunehmend hohem Sonnenstand wird sich ein Überangebot von Solarstrom im Netz ergeben. Das Vergütungsmodell kann dann vorsehen, dass eine Drosselung der Leistungsabgabe eines Solarkraftwerks belohnt wird. Wie bei jedem anderen Solarkraftwerk auch, kann dies durch V2 erreicht werden. Das erfindungsgemäße kombinierte Kraftwerk kann dies jedoch auch durch V3 erreichen. Ohne die Anwendung von V2 (d.h. alle Photovoltaikmodule bleiben am Netz) ergibt sich $P_g = P_V - P_p$, und bei Kombination von V2 mit V3 ergibt sich $P_g < P_V - P_p$, was im Extremfall, wenn alle Photovoltaikmodule vom Netz getrennt werden, zu $P_g = -P_p$ führt. Wenn V3 ausgeführt wird, ergibt sich der zusätzliche Vorteil, dass die im PSK 1 gespeicherte Energie zu einem späteren Zeitpunkt (z.B. bei Nacht) durch V6 in Netz eingespeist werden kann.

Der Erfinder hat erkannt, dass das kombinierte Kraftwerk in der Ausführungsform gemäß Figur 1, den Nachteil hat, dass in Schritt V3 nur mit konstanter Leistung (P_p) gepumpt werden kann. Der Nachteil fällt z.B. dann ins Gewicht, wenn zu einer bestimmten Zeit weder die Abgabe noch die Aufnahme von elektrischer Leistung an bzw. aus dem Netz vergütet wird, jedoch P_V nicht Null ist, aber $P_V < P_p$ ist. Dann ist es nicht günstig, wenn V3 ausgeführt wird, da dazu Leistung aus dem Netz aufgenommen werden müsste, da P_V nicht für das Pumpen ausreicht. Die Aufnahme von Leistung aus dem Netz würde in diesem Fall Kosten verursachen,

die eventuell nicht wieder durch das Turbinieren zu anderer Zeit hereingeholt werden könnten. Auch wenn $P_V > P_p$ ist ergibt sich in dieser Situation ein Nachteil, da dann eigentlich mit viel höherer Leistung gepumpt werden könnte, ohne Leistung aus dem Netz aufzunehmen. Es bleibt dann nur noch die Maßnahme
5 übrig, so viele Photovoltaikmodule vom Netz zu nehmen, bis die Leistung der am Netz verbliebenen Module ungefähr gleich groß ist wie P_p .

Die genannten Nachteile könnten dadurch behoben werden, dass das PSK 1 drehzahlvariabel ausgeführt wird, wie es von separaten PSKs her bekannt ist. Der
10 Fachmann könnte dies durch die Verwendung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine anstelle der Synchronmaschine 7 oder durch den Einsatz eines Vollumrichters zwischen der Synchronmaschine 7 und dem Transformator 9 erreichen. Diese Maßnahmen sind jedoch sehr teuer. Der Erfinder hat erkannt, dass sich die genannten Nachteile auch viel einfacher und damit kostengünstiger
15 beheben lassen, nämlich mit den Ausführungsformen des kombinierten Kraftwerks gemäß den Figuren 3 und 5.

Figur 3 zeigt das erfindungsgemäße kombinierte Kraftwerk in einer zweiten Ausführungsform. Die Bezeichnungen entsprechen den Bezeichnungen von Figur
20 1. Die zweite Ausführungsform gemäß Figur 3 unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform gemäß Figur 1 nur durch einen zusätzlichen Leistungsschalter 16, welcher so angeordnet ist, dass das kombinierte Kraftwerk unabhängig vom Übertragungsnetz 12 betrieben werden kann, d.h. im sogenannten Inselbetrieb. Inwiefern sich dadurch der genannte Nachteil beheben lässt, wird klar durch die
25 folgende Beschreibung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens dieser Ausführungsform.

Figur 4 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines kombinierten Kraftwerks in der Ausführungsform gemäß Figur 3. Zusätzlich zu den
30 Verfahrensschritten aus Figur 2 zeigt Figur 4 eine weitere Betriebsoption, welche mit V4 bezeichnet ist. V4 ist dem ersten Fall zugeordnet, d.h. dann wenn $P_g < P_V$ sein soll. Im Schritt V4 läuft das kombinierte Kraftwerk im Inselbetrieb, wobei sich

die Pumpturbine 6 im Pumpenmodus befindet und die Synchronmaschine 7 mit variabler Drehzahl arbeitet. Unter variabler Drehzahl wird hier eine Drehzahl der Synchronmaschine 7 und damit der Pumpturbine 6 verstanden, die nicht durch die Netzfrequenz vorgegeben ist. Dabei wird der Betriebszustand V4 auf folgendem Weg erreicht: Die Synchronmaschine 7 wird durch den Anfahrumrichter 8 in Pumpenrichtung auf eine gewisse Drehzahl gebracht, die in der Regel nur einem Bruchteil ihrer Nennleistung entspricht. Dann wird der Leistungsschalter 14 geschlossen und mit weiteren in Figur 3 nicht dargestellten Schaltern (und Leitungen) dafür gesorgt, dass elektrische Leistung vom PVP 2 der Synchronmaschine 7 zugeführt wird. Dabei kann es notwendig sein, dass die einzelnen Photovoltaikmodule 10 sukzessive mit der Sammelschiene 18 verbunden werden. Während diesem Vorgang wird die Pumpturbine belastet. Dabei wird mit dem Anfahrumrichter 8 die Drehzahl weiter erhöht, bis ein Zustand erreicht ist, bei dem die Pumpleistung der Pumpturbine 6 der aktuell durch den PVP 2 erzeugten elektrischen Leistung entspricht, d.h. dass $P_p^{var} = P_v$ ist. Dann wird der Leistungsschalter 16 geöffnet (wobei die Leistungsschalter 14 und 15 geschlossen sind). Damit werden sowohl das PSK 1 als auch der PVP 2 vom Übertragungsnetz 12 getrennt. Das bedeutet dass der Betriebszustand V4 immer mit dem Betriebszustand V2 einhergeht, wobei alle Photovoltaikmodule 10 vom Übertragungsnetz 12 getrennt werden. Außerdem ist klar, dass Betriebszustand V4 nicht mit dem Betriebszustand V3 kombinierbar ist, da die Synchronmaschine 7 in V4 nicht synchron mit der Netzfrequenz arbeitet.

Wie im vorherigen Abschnitt bereits angedeutet zeigt der Übersichtlichkeit wegen Figur 3 nicht alle elektrischen Elemente, die dafür notwendig sind, um das erfindungsgemäße Kraftwerk in den Betriebszustand V4 zu bringen. Aus dem Gesagten kann der Fachmann aufgrund seines Fachwissens jedoch entnehmen, welche Elemente vorzusehen sind, ohne dass er dafür erfinderisch tätig werden müsste. Welche Elemente genau vorzusehen sind, hängt dabei auch davon ab, wie ein kombiniertes Kraftwerk im Detail ausgelegt ist (Anzahl der Photovoltaikmodule und deren Leistung, Leistung der Synchronmaschine und des Anfahrumrichters ...). Dasselbe gilt für die Ausführungsform gemäß Figur 5.

Der Betriebszustand V4 regelt sich in gewissen Grenzen selbst. Wenn die von den Photovoltaikmodulen 10 erzeugte elektrische Leistung steigt, dann erhöht sich die Drehfrequenz der Synchronmaschine 7 und der mit ihr verbundenen Pumpturbine 6 und damit die Pumpleistung. Im umgekehrten Fall vermindert sich die Drehfrequenz. Die Grenzen für den drehzahlvariablen Betrieb V4 sind durch den Drehzahlbereich gegeben, in welchem die Pumpturbine 6 mit vernünftiger Effizienz pumpen kann.

Im Betriebszustand V4 werden die fremdgeführten Umrichter 11 durch die elektrische Frequenz der Synchronmaschine 7 geführt. Es ist ferner klar, dass im Betriebszustand V4 eines kombinierten Kraftwerks gemäß Figur 3 $P_g = 0$ ist.

Im drehzahlvariablen Betrieb V4 kann die elektrische Leistung, die die Synchronmaschine 7 antreibt, auch durch das Zu- oder Abschalten von einzelnen Photovoltaikmodulen 10 mittels der zugehörigen Schalter auf die Sammelschiene 18 variiert werden. Wenn z.B. P_v zu groß wird, so dass die Pumpturbine 6 aus dem noch sinnvoll zu verwendenden Drehzahlbereich nach oben herauslaufen würde, dann können so viele Photovoltaikmodule 10 von der Sammelschiene 18 getrennt werden, dass die Pumpturbine 6 noch unterhalb der maximal verwendbaren Drehzahl bleiben kann. Dabei kann die elektrische Leistung der von der Sammelschiene 18 getrennten Photovoltaikmodule 10 nicht verwendet werden und geht so verloren. Der Erfinder hat erkannt, dass dieser Nachteil durch ein erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk nach Figur 5 behoben werden kann.

Figur 5 zeigt das erfindungsgemäße kombinierte Kraftwerk in einer dritten Ausführungsform. Die Bezeichnungen entsprechen den Bezeichnungen von Figur 1. Die dritte Ausführungsform gemäß Figur 5 unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform gemäß Figur 1 dadurch, dass der PVP 2 eine weitere Sammelschiene 19 umfasst, mit der die Photovoltaikmodule 10 über jeweils einen Schalter verbunden werden können. PVP 2 umfasst ferner einen weiteren Transformator 9 welcher mit der zusätzlichen Sammelschiene 19 verbunden ist.

Der zusätzliche Transformator 9 ist über einen Leistungsschalter, welcher mit 17 bezeichnet ist, mit der Synchronmaschine 7 verbunden.

Diese Anordnung kann dazu verwendet werden, dass nur ein Teil der Photovoltaikmodule 10 für den drehzahlvariablen Betrieb gemäß V4 verwendet werden, während die übrigen Photovoltaikmodule 10 in das Übertragungsnetz 12 einspeisen. Der Betriebszustand wird bei dieser Anordnung analog zu der Anordnung aus Figur 3 erreicht. In verkürzter Form kann Folgendes gesagt werden: Es wird wenigstens eines der Photovoltaikmodule 10 vom Übertragungsnetz 12 getrennt und mit der zusätzlichen Sammelschiene 19 verbunden (ggf. geschieht das sukzessive). Die Synchronmaschine 7 wird im Endeffekt durch den Anfahrumsrichter 8 in Pumpenrichtung auf eine Drehzahl gebracht, so dass die Pumpleistung der Pumpturbine 6 bei dieser Drehzahl der aktuell durch die mit der zusätzlichen Sammelschiene 19 verbundenen Photovoltaikmodule 10 erzeugten elektrischen Leistung entspricht. Dabei sind der Leistungsschalter 15 geöffnet und der Leistungsschalter 17 geschlossen worden. Der Betriebszustand V4 bei einem kombinierten Kraftwerk gemäß Figur 5 geht immer mit dem Betriebszustand V2 einher, wobei jedoch im Gegensatz zu der Ausführungsform gemäß Figur 3 nicht alle Photovoltaikmodule 10 vom Übertragungsnetz 12 getrennt werden. Weiterhin gilt, dass Betriebszustand V4 nicht mit dem Betriebszustand V3 kombinierbar ist, da die Synchronmaschine 7 in V4 nicht synchron mit der Netzfrequenz arbeitet. Im Unterschied zur Ausführungsform gemäß Figur 3 ist bei der Ausführungsform gemäß Figur 5 im Betriebszustand V4 P_g nicht zwangsläufig 0, da - wenn gewünscht - ein Teil der Photovoltaikmodule 10 weiterhin ins Übertragungsnetz 12 einspeist.

Ein erfindungsgemäßes Kraftwerk gemäß der Ausführungsform nach Figur 5 stellt somit die höchste Flexibilität im Betrieb zur Verfügung. Aus dem Gesagten ist auch klar, dass der Vorteil dieser Ausführungsform nur dann zum Tragen kommen kann, wenn das Kraftwerk wenigstens zwei Photovoltaikmodule 10 mit den zugehörigen Umrichtern 11 umfasst.

Es sei noch erwähnt, dass ein erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk in den Ausführungsformen gemäß Figur 1 oder Figur 5 optional auch einen weiteren Leistungsschalter umfassen kann, mit dem das gesamte kombinierte Kraftwerk vom Übertragungsnetz (12) getrennt werden kann, d.h. einen Leistungsschalter wie den mit 16 bezeichneten aus Figur 3.

Wenn der PVP 2 eine sehr hohe elektrische Gesamtleistung aufweist, dann kann es notwendig sein, dass das PSK 1 über mehr als einen Maschinensatz verfügen muss, um die für eine sinnvolle Kombination notwendige Leistung zur Verfügung stellen zu können. Es ist jedoch klar, dass auch in diesem Fall ein erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk einfacher aufgebaut ist, als ein kombiniertes Kraftwerk gemäß der WO 2009/118572 A1 mit gleichen Leistungsdaten, da pro Maschinensatz immer nur eine Druckrohrleitung benötigt wird, und durch die Verwendung von reversiblen Pumpturbinen nur eine elektrische Maschine anstelle der doppelten Anzahl wie bei der WO 2009/118572 A1. Außerdem sind die Betreibzeiten der zum PSK gehörigen Komponenten kürzer, da der PVP des erfindungsgemäßen kombinierten Kraftwerks direkt ins Übertragungsnetz einspeisen kann, ohne dass gleichzeitig eine Turbine arbeiten muss.

Die Verwendung von mehreren Maschinensätzen führt jedoch auch dazu, dass sich weitere Freiheitsgrade im Betrieb ergeben, wodurch die Flexibilität erhöht werden kann. Das ist insbesondere günstig für ein erfindungsgemäßes kombiniertes Kraftwerk in der Ausführungsform nach Figur 1, da auch so die oben genannten Nachteile dieser Ausführungsform vermindert werden können. So kann optional im Schritt V3 einer (oder mehrere) der Maschinensätze turbinieren (während die anderen pumpen) und zwar mit einer kleineren Leistung als die konstante Pumpleistung der anderen Sätze. Dadurch ergibt sich eine Netto-Pumpleistung die durch die regelbare Leistung des Turbinenbetriebes selbst regelbar wird. Das entspricht dem Betrieb eines PSK mit ternärem Maschinensatz im hydraulischen Kurzschluss.

Patentansprüche

1. Kombiniertes Kraftwerk zum Anbinden an ein Übertragungsnetz (12),
5 umfassend ein Oberwasserbecken (3), ein Unterwasserbecken (4), einen
Wasserweg (5), welcher zwischen dem Oberwasserbecken (3) und dem
Unterwasserbecken (4) verbindend angeordnet ist, eine im Wasserweg (5)
angeordnete hydraulische Maschine (6), eine mit der hydraulischen Maschine
(6) verbundene elektrische Maschine (7), ein Photovoltaikmodul (10) und ein
10 mit dem Photovoltaikmodul (10) verbundener fremdgeführter Umrichter (11)
dadurch gekennzeichnet, dass das kombinierte Kraftwerk einen ersten und
einen zweiten Transformator (9) umfasst, und die hydraulische Maschine (6)
als reversible Pumpturbine ausgebildet ist, und die elektrische Maschine (7) als
Synchronmaschine ausgebildet ist, welche über den ersten Transformator (9)
15 und einen Leistungsschalter (15) mit dem Übertragungsnetz (12) verbunden
ist, und dass das Kraftwerk einen Anfahrumsrichter (8) zum Anfahren der
Synchronmaschine (7) und eine Sammelschiene (18) umfasst, mit welcher der
fremdgeführte Umrichter (11) über einen Schalter verbunden ist, und wobei
die Sammelschiene (18) über den zweiten Transformator (9) mit dem
20 Übertragungsnetz (12) verbunden ist, und dass das Kraftwerk einen
Leistungsregler (13) umfasst, welcher so ausgebildet ist, dass er alle Schalter
des Kraftwerks, den Anfahrumsrichter (8), die Synchronmaschine (7) und die
reversible Pumpturbine (6) steuern kann.
2. Kombiniertes Kraftwerk nach Anspruch 1, wobei das Kraftwerk einen weiteren
25 Leistungsschalter (16) umfasst, welcher vom Leistungsregler (13) gesteuert
werden kann und so angeordnet ist, dass er die mit dem Übertragungsnetz
(12) verbundenen elektrischen Komponenten vom demselben trennen kann.
3. Kombiniertes Kraftwerk nach Anspruch 1, wobei das Kraftwerk wenigstens zwei
Photovoltaikmodule (10), wenigsten zwei fremdgeführten Umrichter (11), von

denen jeder jeweils mit einem Photovoltaikmodul (10) verbunden ist, eine weitere Sammelschiene (19) und einen dritten Transformator (9) umfasst, wobei die Sammelschiene (19) mit dem dritten Transformator (9) verbunden ist, und jeder der Umrichter (11) mit der weiteren Sammelschiene (11) über
5 Schalter verbunden werden kann, und das Kraftwerk ferner einen weiteren Leistungsschalter (17) umfasst, über den der dritte Transformator (9) mit der Synchronmaschine (7) verbunden werden kann, und wobei der Leistungsregler (13) den Leistungsschalter (17) und die Schalter zwischen der weiteren Sammelschiene (19) und den Umrichtern (11) steuern kann.

10 4. Kombiniertes Kraftwerk nach Anspruch 1, wobei das Kraftwerk wenigstens zwei Pumpturbinen (6) und wenigstens zwei Synchronmaschinen (7) umfasst.

5. Verfahren zum Betrieb eines Kraftwerks nach Anspruch 1, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

V1: Festlegen der elektrischen Leistung, die von dem Kraftwerk an das
15 Übertragungsnetz (12) abgegeben werden soll, durch den Leistungsregler (13);

V2: Trennen vom Übertragungsnetz (12) von wenigstens einem Photovoltaikmodul (10);

V3: Pumpen der Pumpturbine (6);

20 V5: Verbinden mit dem Übertragungsnetz (12) von allen Photovoltaikmodulen (10);

V6: Turbinieren der Pumpturbine (6);

wobei die Schritte V2 und V3 dann einzeln oder in Kombination erfolgen, wenn in Schritt V1 festgelegt wurde, dass die elektrische Leistung, die von dem
25 Kraftwerk an das Übertragungsnetz (12) abgegeben werden soll, kleiner ist, als die gesamte aktuell erzeugte elektrische Leistung von allen

Photovoltaikmodulen (10), und wobei die Schritte V5 und V6 dann einzeln oder in Kombination erfolgen, wenn in Schritt V1 festgelegt wurde, dass die elektrische Leistung, die von dem Kraftwerk an das Übertragungsnetz (12)
30 abgegeben werden soll, wenigstens so groß ist, wie die gesamte aktuell

erzeugte elektrische Leistung von allen Photovoltaikmodulen (10), und wobei die Synchronmaschine (7) in den Schritten V3 und V6 synchron mit der Netzfrequenz arbeitet.

6. Verfahren nach Anspruch 5 zum Betrieb eines Kraftwerks nach Anspruch 2, wobei das Verfahren zusätzlich den folgenden Schritt umfasst:

V4: Pumpen der Pumpturbine (6) mit variabler Drehzahl;

wobei in Schritt V4 die Synchronmaschine (7) nicht synchron mit der Netzfrequenz arbeitet und der Leistungsschalter (16) geöffnet und der Leistungsschalter (15) geschlossen sind, so dass das Kraftwerk vom

Übertragungsnetz (12) getrennt ist, und die Synchronmaschine (7) mit der Sammelschiene (18) verbunden ist, wobei der Schritt V4 alternativ zu Schritt V3 und in Kombination mit Schritt V2 ausgeführt wird, wenn in Schritt V1

festgelegt wurde, dass die elektrische Leistung, die von dem Kraftwerk an das Übertragungsnetz (12) abgegeben werden soll, kleiner ist, als die gesamte

aktuell erzeugte elektrische Leistung von allen Photovoltaikmodulen (10), und wobei in dem Fall, dass Schritt V2 in Kombination mit V4 ausgeführt wird, in Schritt V2 alle Photovoltaikmodule (10) vom Übertragungsnetz (12) getrennt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 zum Betrieb eines Kraftwerks nach Anspruch 3, wobei das Verfahren zusätzlich den folgenden Schritt umfasst:

V4: Pumpen der Pumpturbine (6) mit variabler Drehzahl;

wobei in Schritt V4 die Synchronmaschine (7) nicht synchron mit der Netzfrequenz arbeitet und der Leistungsschalter (15) geöffnet ist, so dass die Synchronmaschine (7) nicht mit dem Übertragungsnetz (12) verbunden ist, und

wobei der Leistungsschalter (17) geschlossen ist, so dass die Synchronmaschine (7) mit der weiteren Sammelschiene (19) verbunden ist, wobei der Schritt V4 alternativ zu Schritt V3 und in Kombination mit Schritt V2 ausgeführt wird, wenn in Schritt V1 festgelegt wurde, dass die elektrische Leistung, die von dem Kraftwerk an das Übertragungsnetz (12) abgegeben

werden soll, kleiner ist, als die gesamte aktuell erzeugte elektrische Leistung von allen Photovoltaikmodulen (10).

8. Verfahren nach Anspruch 5 zum Betrieb eines Kraftwerks nach Anspruch 4, wobei in Schritt V3 entweder alle Pumpturbinen (6) pumpen oder optional eine Pumpturbine (6) turbiniert.

1 / 5

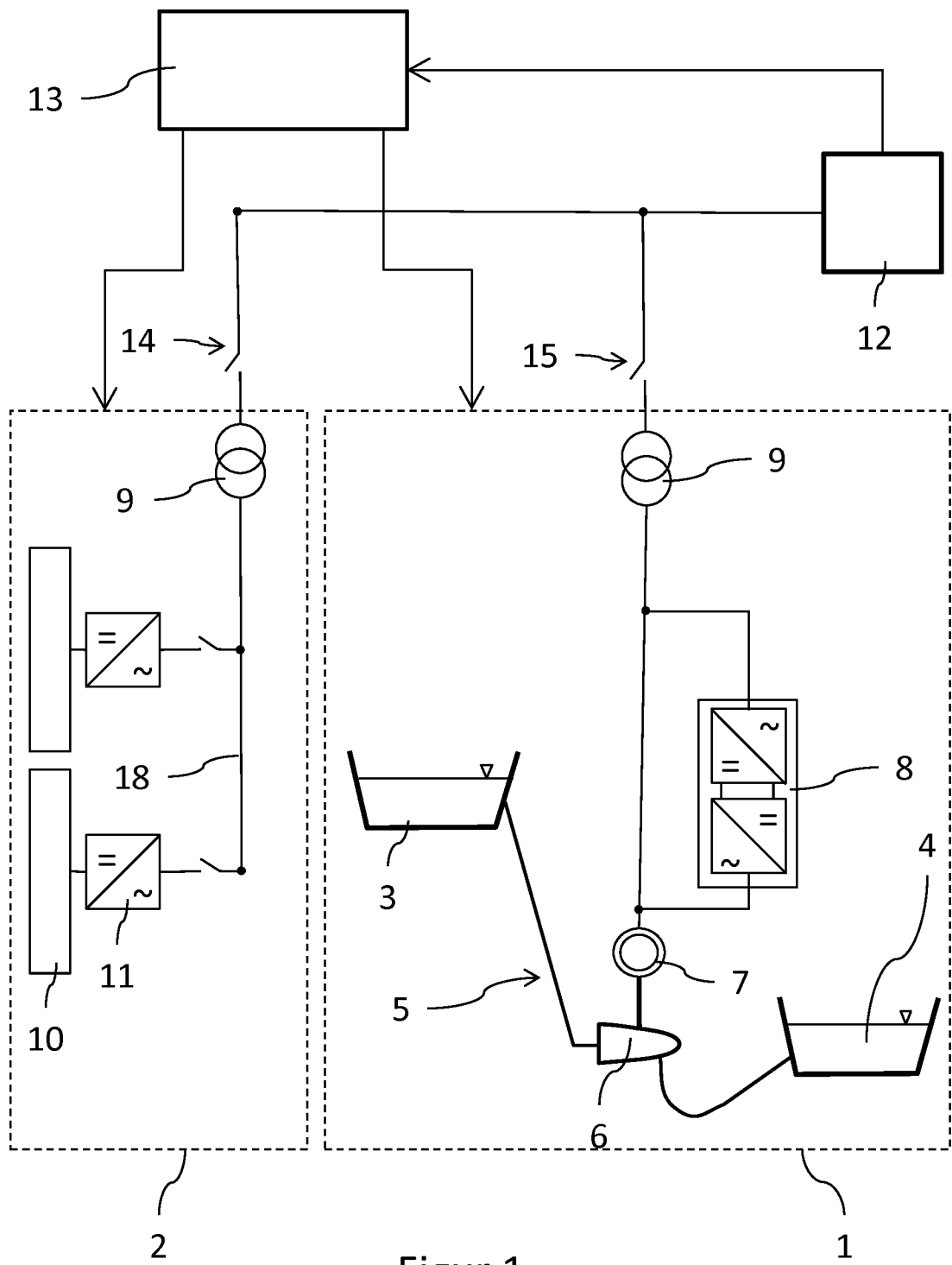
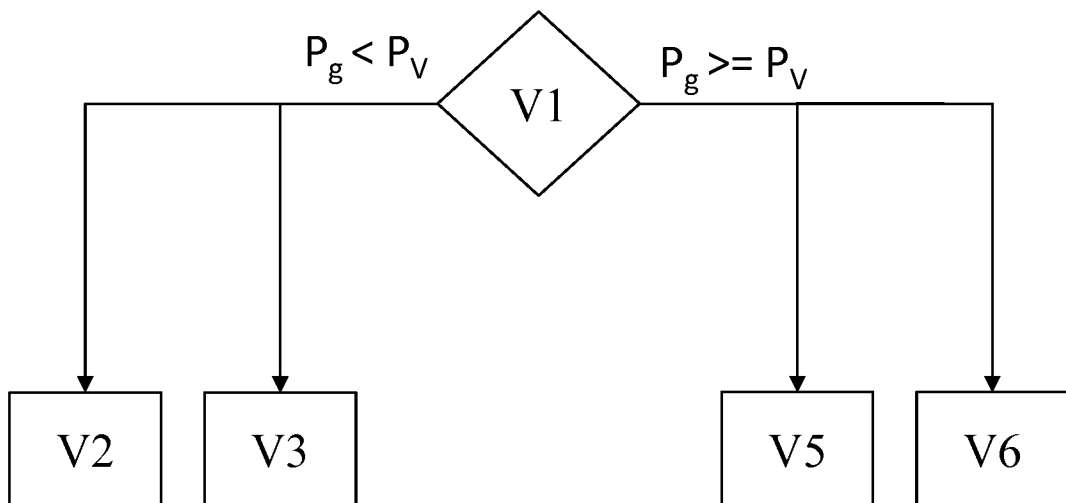


Figure 1

2 / 5



Figur 2

3 / 5

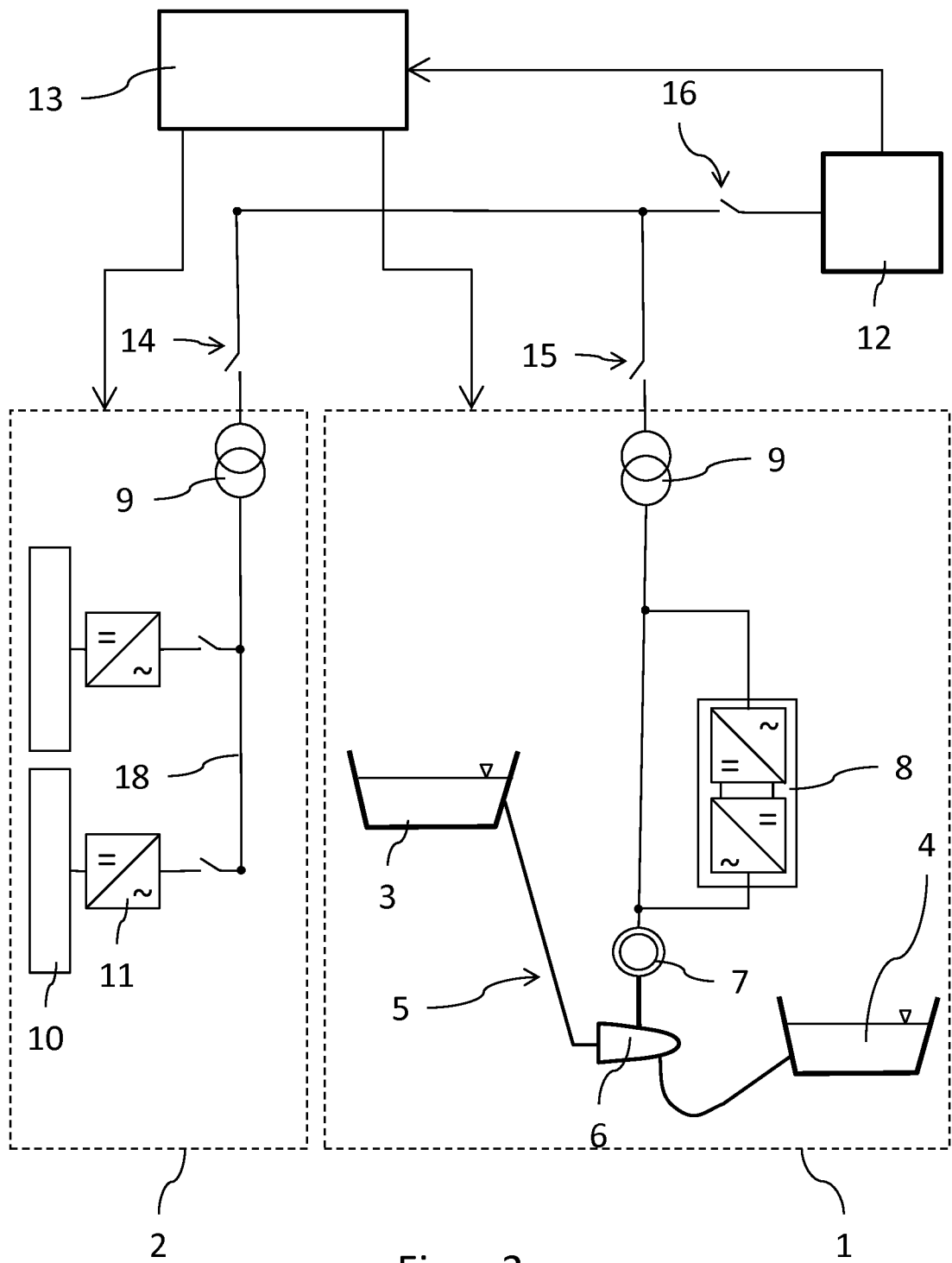
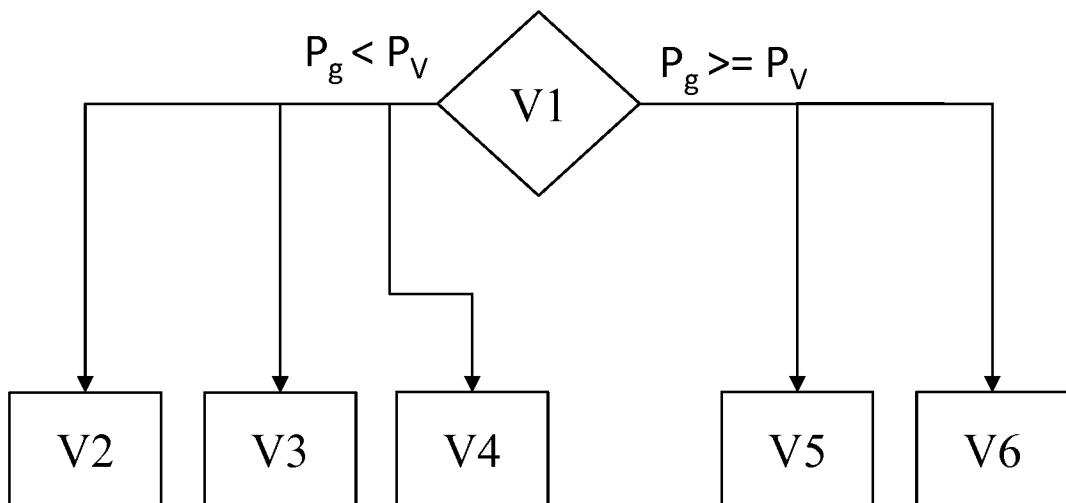


Figure 3

4 / 5



Figur 4

5 / 5

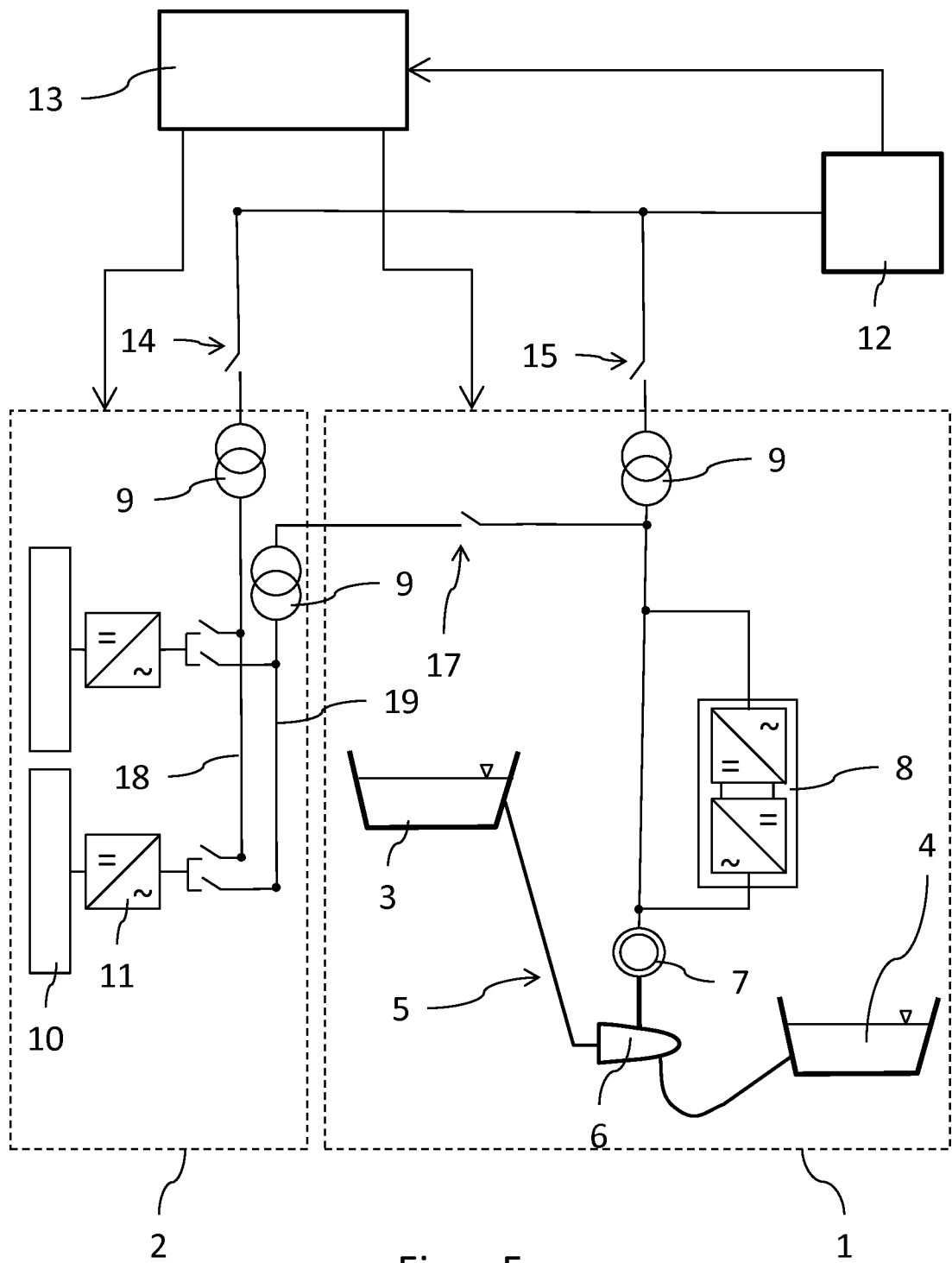


Figure 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/052873

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F03B 13/06**(2006.01)i; **H02J 3/38**(2006.01)i; **F03B 15/00**(2006.01)i

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; H02J

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.
A	WO 2009118572 A1 (GLASNOVIC ZVONIMIR [HR]; MARGETA JURE [HR]) 01 October 2009 (2009-10-01) cited in the application the whole document	1-8
A	DE 202007016031 U1 (NATCON7 GMBH [DE]) 15 May 2008 (2008-05-15) paragraph [0032] - paragraph [0040]; figures	1-8
A	DE 202011100466 U1 (KUSAN KRISTIAN [DE]) 25 August 2011 (2011-08-25) abstract; figure	1-8
A	US 2017260961 A1 (MORI JUNJI [JP] ET AL) 14 September 2017 (2017-09-14) the whole document	1-8
A	EP 2818692 A1 (HITACHI MITSUBISHI HYDRO CORP [JP]) 31 December 2014 (2014-12-31) paragraph [0011] - paragraph [0038]; figures	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

19 March 2019

Date of mailing of the international search report

18 April 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Di Renzo, Raffaele

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/052873

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2009118572	A1	01 October 2009	HR	P20080132	A2	30 September 2009
				WO	2009118572	A1	01 October 2009
DE	202007016031	U1	15 May 2008	NONE			
DE	202011100466	U1	25 August 2011	NONE			
US	2017260961	A1	14 September 2017	CN	107181436	A	19 September 2017
				EP	3217512	A1	13 September 2017
				JP	6039121	B1	07 December 2016
				JP	2017163745	A	14 September 2017
				US	2017260961	A1	14 September 2017
EP	2818692	A1	31 December 2014	EP	2818692	A1	31 December 2014
				JP	2015012636	A	19 January 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F03B13/06 H02J3/38 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 H02J

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.
A	WO 2009/118572 A1 (GLASNOVIC ZVONIMIR [HR]; MARGETA JURE [HR]) 1. Oktober 2009 (2009-10-01) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-8
A	DE 20 2007 016031 U1 (NATCON7 GMBH [DE]) 15. Mai 2008 (2008-05-15) Absatz [0032] - Absatz [0040]; Abbildungen -----	1-8
A	DE 20 2011 100466 U1 (KUSAN KRISTIAN [DE]) 25. August 2011 (2011-08-25) Zusammenfassung; Abbildung -----	1-8
A	US 2017/260961 A1 (MORI JUNJI [JP] ET AL) 14. September 2017 (2017-09-14) das ganze Dokument ----- -/-	1-8



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

19. März 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/04/2019

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Di Renzo, Raffaele

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 2 818 692 A1 (HITACHI MITSUBISHI HYDRO CORP [JP]) 31. Dezember 2014 (2014-12-31) Absatz [0011] - Absatz [0038]; Abbildungen -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/052873

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009118572 A1	01-10-2009	HR P20080132 A2 WO 2009118572 A1	30-09-2009 01-10-2009

DE 202007016031 U1	15-05-2008	KEINE	

DE 202011100466 U1	25-08-2011	KEINE	

US 2017260961 A1	14-09-2017	CN 107181436 A EP 3217512 A1 JP 6039121 B1 JP 2017163745 A US 2017260961 A1	19-09-2017 13-09-2017 07-12-2016 14-09-2017 14-09-2017

EP 2818692 A1	31-12-2014	EP 2818692 A1 JP 2015012636 A	31-12-2014 19-01-2015
