Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 105 (2014)
Heft: 3

Artikel: 100-MW-Vollumrichter im Pumpspeicherwert Grimsel 2
Autor: Schlunegger, Hans / Thöni, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856206

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

100-MW-Vollumrichter im Pumpspeicherwerk Grimsel 2

Frequenzvariabler Betrieb einer Synchronmaschine

Bestehende Speicherpumpen können durch Ergänzung mit einem Frequenzumrichter mit variabler Drehzahl betrieben werden. Dadurch kann die Produktion einer Kraftwerksgruppe optimal an den Fahrplan angepasst und zudem primäre und sekundäre Regelenergie produziert werden. Im Pumpspeicherwerk Grimsel 2 der Kraftwerke Oberhasli KWO wurde kürzlich eine Speicherpumpe mit einem Vollumrichter ausgerüstet und erfolgreich in Betrieb genommen.

Hans Schlunegger, Andreas Thöni

Das zwischen Oberaarsee und Grimselsee arbeitende Pumpspeicherwerk Grimsel 2 der Kraftwerke Oberhasli (KWO) wurde 1974 bis 1980 gebaut und ist mit vier ternären, horizontalachsigen Maschinensätzen ausgerüstet (Bild 2). Jeder Maschinensatz mit einer Leistung von 90 MW besteht aus Generator/Motor, Francis-Turbine und Pumpe. Alle drei Apparate sind fest miteinander verbunden. Bei Turbinenbetrieb dreht das Pumpenrad im entleerten Gehäuse mit und umgekehrt. Der Startvorgang erfolgt für beide Betriebsarten mit der Turbine. Die wichtigsten Daten des Kraftwerks Grimsel 2 sind in der Tabelle aufgeführt.

Gründe für einen Frequenzumrichter

Eine wichtige Aufgabe der KWO ist die Produktion von Regelenergie. Bis heute ist dies aber nur im Turbinenbetrieb möglich. Vor allem im Winter bei niedrigen Wasserzuflüssen und in Schwachlastzeiten muss die Regelenergie mit Wasser aus den Speicherseen produziert werden und steht in einem späteren Zeitpunkt nicht mehr zur Produktion von Spitzenenergie zur Verfügung. Mit der Produktion von Regelenergie im Pumpbetrieb könnte dieser Nachteil ausgeglichen werden. Aus dieser Forderung entstand das durch das BFE mit dem Watt d'Or ausgezeichnete Projekt «Varspeed Grimsel 2».

Leistung im Turbinenbetrieb	4 x 80 MW
Leistung im Pumpbetrieb	4 x 90 MW
Mittlere Förderhöhe	400 m
Wasserdurchfluss	4 x 22 m^3/s
Synchrondrehzahl	750 U/min

Tabelle Daten des Kraftwerks Grimsel 2.

Eine der vier Maschinengruppen sollte auf drehzahlvariablen Betrieb erweitert werden. Dem Stand der Technik im Jahre 2008 entsprechend, wurde ein Umbau der vorhandenen Synchronmaschine in eine doppeltgespeiste Asynchronmaschine geprüft, aber aus verschiedenen Gründen nicht weiterverfolgt. Als Lösung kam deshalb nur ein Vollumrichter (Bild 1) in Frage. Der hydraulische Kurzschluss wurde einerseits aus strömungsdynamischen Gründen und andererseits wegen des schlechten Wirkungsgrades der Francis-Turbinen im Teillastbetrieb nicht in Betracht gezogen.

Evaluation

Bisher wurden Umrichter für Synchronmaschinen bis zu einer Leistung von 100 MW gebaut. Es handelt sich allerdings um sogenannte LCI (Load commutated inverter). Diese sind für die vorliegende Anwendung nicht geeignet, da der hohe Oberschwingungsgehalt und der lastgeführten Stromrichtern eigene Spannungsverlauf eine bestehende Maschine zu stark beanspruchen würden. Zudem ist der netzseitige Leistungsfaktor solcher Umrichter induktiv und nicht beeinflussbar. [1, 2] Aus diesem Grund kam nur ein spannungsgeführter Umrichter in Frage, welcher auf der Motorseite eine für die Maschine erträgliche Spannungsform aufweist.

Umrichter

Auf die öffentliche Ausschreibung im Jahre 2009 hat u.a. ABB ein Angebot unterbreitet und erhielt den Zuschlag aufgrund der verwendeten Halbleiterelemente und des beeinflussbaren, netzseitigen Leistungsfaktors.

Aufbau des Umrichters

Der Umrichter besteht aus zwei Teilen gleicher Leistung (je 50 MW) mit je einem Transformator am Ein- und Ausgang (Bild 4). Die gewählte Konfiguration besteht aus zwei Stromrichterblöcken auf der Netz- und Motorseite. Die jeweiligen Ein- und Ausgangsspannungen dieser Blöcke werden von den Stromrichter-Transformatoren netz- und motorseitig addiert. Die verwendeten Stromrichter-Blöcke wiederum bestehen aus einer Parallelschaltung von zwei dreiphasigen Dreipunkteinheiten, sog. Doppelphasenmodulen. Insgesamt sind in der Umrichteranlage 24 Doppelphasenmodule eingebaut.

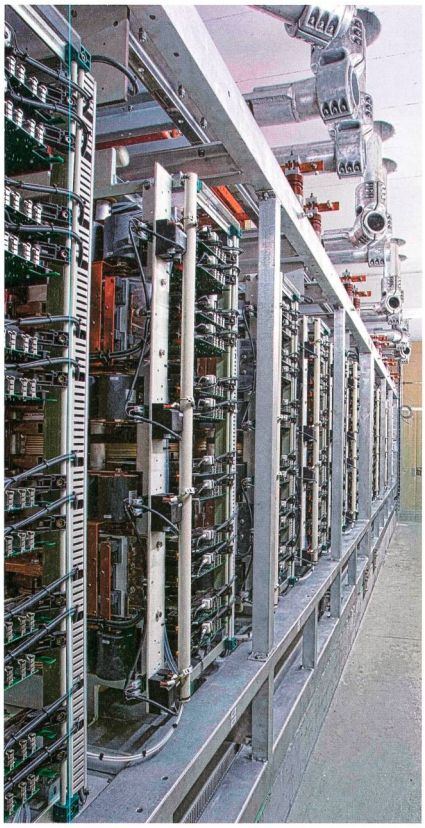

Bild 1 Umrichterblock.

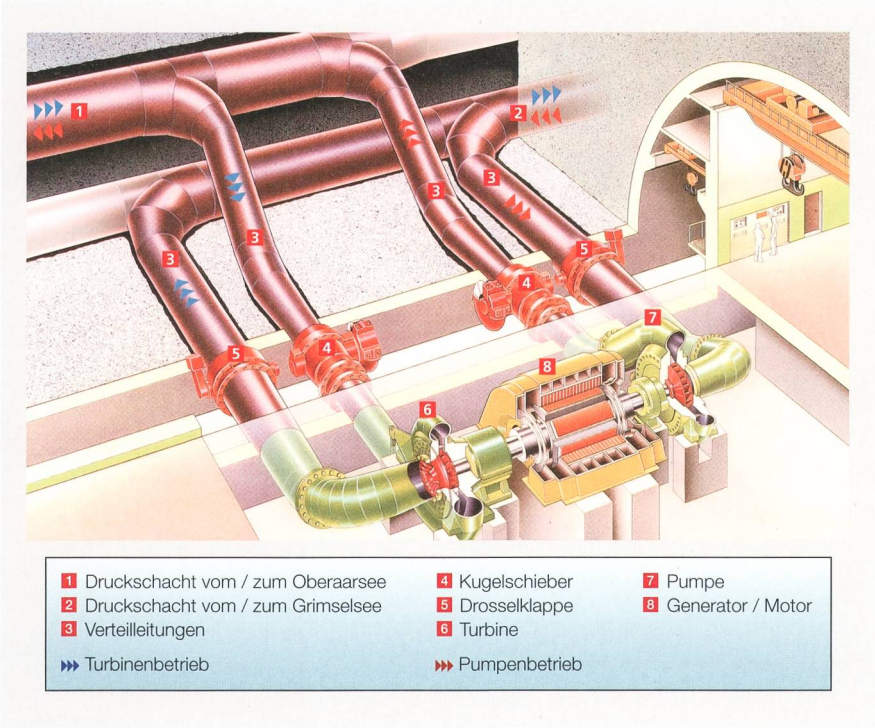

Bild 2 Schematische Darstellung einer Maschinengruppe.

Leistungsbereich

Die Pumpe kann in einem Leistungsbereich von 60 bis 100 MW betrieben werden (Bild 5). Die minimale Leistung ist durch die Kavitationsgrenze gegeben. Die maximale Leistung ist durch den Umrichter und das zulässige Drehmoment an der Pumpenwelle begrenzt.

Startvorgang

Im Turbinenbetrieb und im ungeregelten Pumpbetrieb wird die Maschinengruppe mit der Turbine angefahren. Der Blocktransformator wird durch die Maschine aufmagnetisiert und nach Erreichen der Synchronisierbedingungen mit dem Generatorschalter auf der 220-kV-Ebene zugeschaltet. Im geregelten Pumpbetrieb müssten der Blocktransformator sowie die beiden netzseitigen Stromrichtertransformatoren direkt eingeschaltet werden. Das würde zu sehr hohen Einschaltstromspitzen führen. Um dies zu vermeiden, wird der Gleichspannungszwischenkreis des Umrichters über die Dioden des motorseitigen Stromrichters vom Lade-Transformator her aufgeladen. Anschliessend werden die Transformatoren mit dem netzseitigen Stromrichter aufmagnetisiert und schliesslich synchronisiert. Der ganze Vorgang dauert etwa 10 s. Die Maschine wird dann mittels Umrichter bei gefüllter Pumpe gegen den geschlossenen Kugelschieber auf 600 U/min beschleunigt. Nach dem Öffnen des Kugelschiebers wird die Drehzahl auf die minimale, von der aktuellen Förderhöhe abhängige Leistung geregelt. Das entspricht einer Drehzahl von ungefähr 690 U/min.

Leistungsregelung

Der Sollwert der Wirkleistung wird entweder manuell eingestellt oder der übergeordneten Kraftwerksregelung entnommen. Diese regelt die Leistung aller Kraftwerke der KWO nach dem vorgegebenen Fahrplan, inkl. dem Wert der Tertiärregelung. Der von Swissgrid vorgegebene Sollwert der Primär- und Sekundärregelung wird zum Fahrplansollwert addiert und bildet den Leistungssollwert für die an der Regelung beteiligten Maschinen und – mit umgekehrtem Vorzeichen – für den Umrichter. Der Ausgang des Umrichter-Leistungsreglers bildet den Drehzahlsollwert der Maschine. Leistungs- und Drehzahlregelung bilden eine Regelkaskade. Die Wirkleistung wird begrenzt durch die aktuelle Förderhöhe und die maximale Leistung des Umrichters.

Die Blindleistung wird über einen Spannungsregelkreis geregelt. Der Sollwert wird entweder von Hand eingestellt oder der übergeordneten Spannungsregelung des 220-kV-Netzes entnommen. Die Wirkleistung hat Vorrang vor der Blindleistung.

Betriebsarten

Folgende Betriebsarten können gefahren werden:

- Turbinenbetrieb.
- Pumpbetrieb ohne Umrichter (konstante Drehzahl).
- Pumpbetrieb mit Umrichter (variable Drehzahl).
- Phasenschieberbetrieb des Umrichters.

Ein Turbinenbetrieb mit Umrichter wurde nicht in Erwägung gezogen, da eine Drehzahlanpassung der Francis-

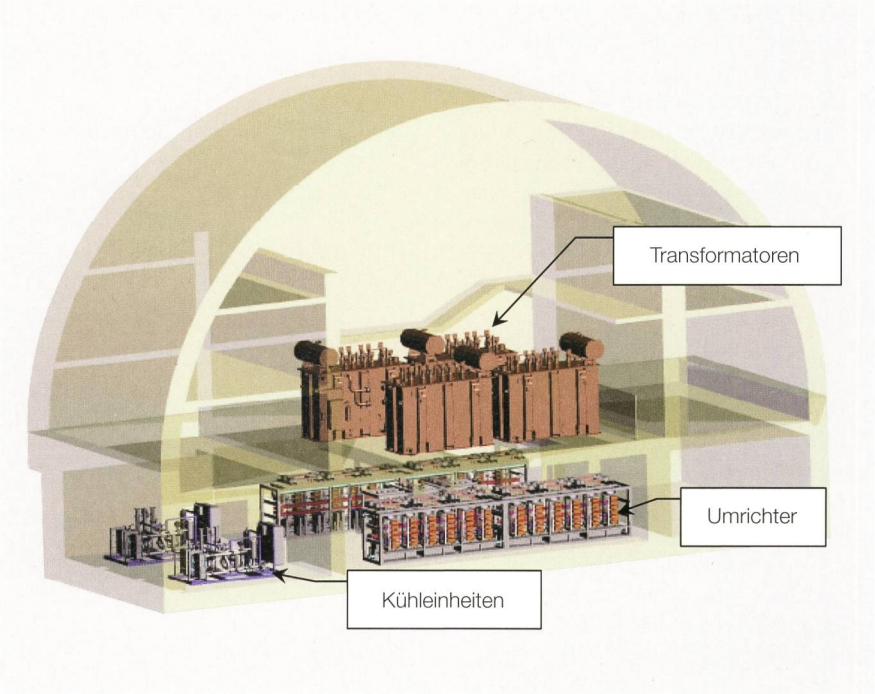

Bild 3 Anordnung der Umrichteranlage.

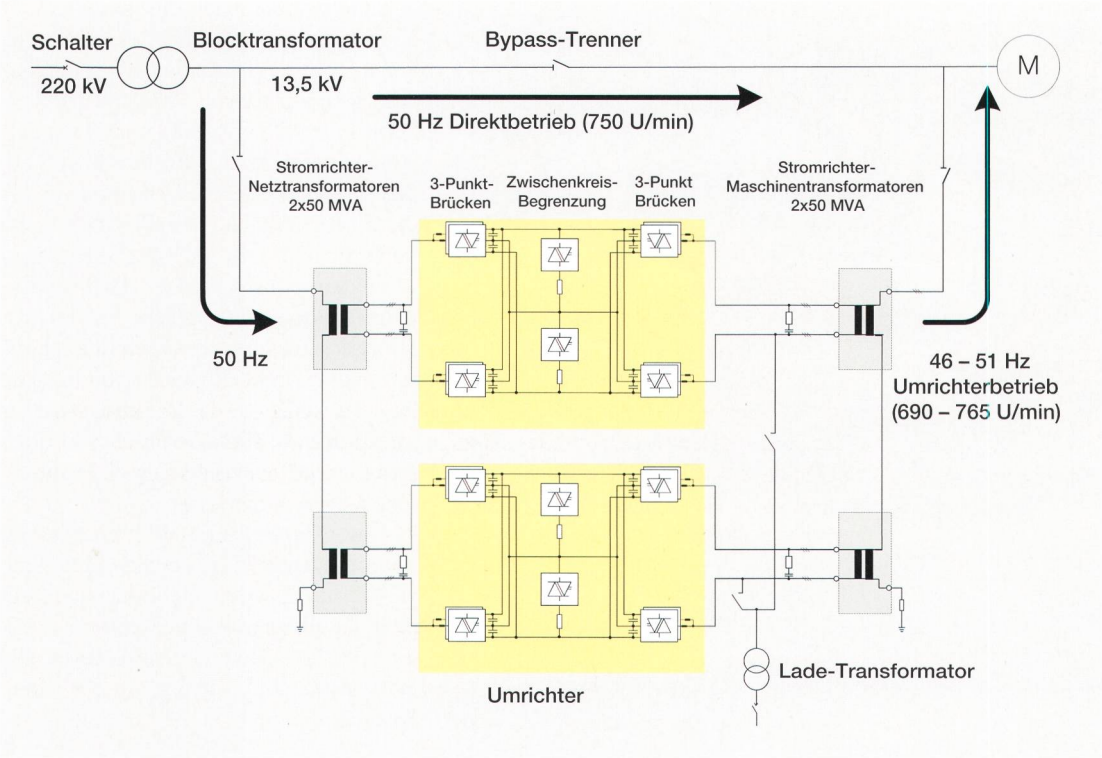

Bild 4 Umrichter mit einer Leistung von 100 MW im Pumpspeicherkraftwerk Grimsel 2. Der Ladetransformator dient der sanften Aufmagnetisierung des Blocktransformators.

Turbine an die relativ kleine Schwankung der Förderhöhe die Verluste des Umrichters nicht kompensieren würde.

Projektablauf

Der Zeitplan zur Lieferung und Montage der Umrichteranlage richtete sich nach den gleichzeitig stattfindenden Erneuerungsarbeiten. Diese umfassten eine Revision der hydraulischen Maschinen, der Kugelschieber und Drosselklappen, die Erneuerung der Leittechnik sowie einen Ersatz von Turbinenregler, Erregereinrichtung und der 220-kV-Schaltanlage.

Die Umrichteranlage konnte in der bestehenden Kaverne platziert werden. Auf der Höhe des Maschinensaalbodens stehen die vier Transformatoren, im Untergeschoss die Stromrichtereinheiten und die Kühlanlage. Das Kühlwasser wird aus dem bestehenden Kühlwassernetz der Zentrale entnommen.

Betriebserfahrungen

Die Anlage (Bild 1) steht seit Anfang Mai 2013 in Betrieb und hat bis Ende 2013 über 2500 h im geregelten Pumpbetrieb und 700 h im Phasenschieberbetrieb gearbeitet. Dank der guten und zielgerichteten Zusammenarbeit zwischen ABB und KWO beschränkten sich die bei jedem Projekt auftretenden Kinderkrankheiten auf regelungstechnische Optimierungsschritte.

Ausblick

Neue Pumpspeicherwerke werden fast ausnahmslos mit drehzahlvariablen Antrieben ausgerüstet. Dem Stand der Technik entsprechend werden doppeltgespeiste Asynchronmotoren eingesetzt. Diese Bauart weist aber Nachteile auf, denn der komplex aufgebaute Rotor stösst an konstruktive Grenzen und schränkt die in Bezug auf die hydraulische Maschine optimale Drehzahl nach oben ein. Zudem ist der Anfahrvorgang wesentlich komplizierter und muss mit entleerter Pumpturbine erfolgen. Ausserdem sind die Anforderungen des Grid Codes schwieriger zu erfüllen. In Zukunft dürften deshalb vermehrt Synchronmaschinen mit Vollumrichter zum Einsatz kommen. Deshalb bietet die Ausrüstung eines bestehenden Pumpspeicherwerkes mit einem Vollumrichter eine ideale Gelegenheit, diese zukunftsweisende Technik in reellem Massstab zu erproben. Die bisherigen Erfahrungen mit der Anlage im Pumpspeicherwerk Grimsel 2 sind vielversprechend.

Bilder: KWO

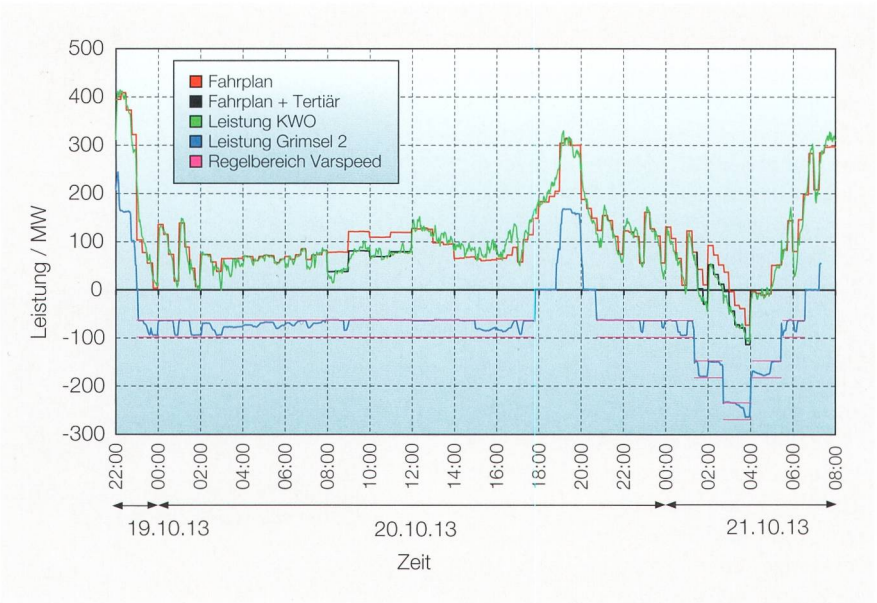

Bild 5 Beispiel eines Leistungsverlaufs der KWO und des Pumpspeicherkraftwerks Grimsel 2. Der Regelbereich der drehzahlvariablen Pumpe bewegt sich zwischen 65 und 95 MW (Varspeed).

Referenzen

[1] G. Sydnor, ABB, USA, R. Bhatia, Nasa, USA, H. Krattiger, ABB, USA, J. Mylius, ABB, Schweiz, D. Schafer, Energie Wasser Bern, Schweiz, «Fifteen Years of Operation at NASA's National Transonic Facility with the World's largest adjustable Speed Drive», Nasa-Archiv.

[2] Harald Förster, Karlsruhe, Reinhard Wagnitz, Berlin. Ein Frequenzumrichter für die Speicherpumpe im Pumpspeicher-Kraftwerk Forbach der Badenwerke, heute EnBW. Sonderdruck aus AEG Technik Magazin 4 (1993).

[3] Johann Hell, Markus Egretzberger, Robert Schürhuber, Alois Lechner, Yves Vaillant, Andritz Hydro. «Full Size converter solutions for Pumped Storage Plants – A promising new technology», Hydro 2012.

[4] Hans Schlunegger, Andreas Thöni, Kraftwerke Oberhasli, «100 MW Full-Size Converter in the Grimsel 2 Pumped Storage Plant», Hydro 2013.

Angaben zu den Autoren

Dr. **Hans Schlunegger** ist beratender Ingenieur und Besucherführer bei den KWO.

Kraftwerke Oberhasli AG, 3862 Innertkirchen
hans.schlunegger@kwo.ch

Andreas Thöni, Dipl. Masch. Ing. ETHZ, ist Projektingenieur bei den KWO.

andreas.thoeni@kwo.ch

Résumé

Un convertisseur total de 100 MW dans la centrale de pompage-turbinage Grimsel 2

Le fonctionnement à fréquence variable d'une machine synchrone

Les pompes d'accumulation existantes peuvent être exploitées avec une vitesse variable grâce à l'utilisation d'un convertisseur de fréquence. Ceci permet d'adapter de façon optimale la production d'un groupe d'une centrale à la feuille de route et de produire en outre de l'énergie de réglage primaire et secondaire. Dans la centrale de pompage-turbinage Grimsel 2 des KWO (Kraftwerke Oberhasli), une pompe d'accumulation a récemment été équipée d'un convertisseur total et mise en service avec succès.

Le convertisseur se compose de deux parties de puissance identique (50 MW) dotées chacune d'un transformateur à l'entrée et à la sortie. La configuration choisie est constituée de deux blocs de convertisseurs du côté réseau et du côté moteur. Les tensions d'entrée et de sortie respectives de ces blocs sont additionnées par les transformateurs des convertisseurs du côté réseau et du côté moteur. Les blocs de convertisseurs utilisés se composent quant à eux d'un montage en parallèle de deux unités triphasées à trois points, également appelées modules à double phase. Au total, 24 modules à double phase ont été intégrés au système de conversion.

La pompe peut fonctionner dans une plage de puissances comprise entre 60 et 100 MW. La puissance minimale est définie par la limite de cavitation. La puissance maximale est limitée par le convertisseur et par le couple admissible sur l'arbre de la pompe.

L'installation est en marche depuis mai 2013 et a déjà effectué, jusqu'à la fin de l'année 2013, plus de 2500 heures en mode de pompage régulé, ainsi que 700 heures en mode déphaseur.

No

Anzeige