Pumpspeicher der Extraklasse

Autor(en): **Novotný, Radomir**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **106 (2015)**

Heft 2

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856601

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Pumpspeicher der Extraklasse

Einblicke in die Besonderheiten des Projektes Linthal 2015

Wasserkraft-Pionierleistungen wurden im Glarnerland schon Ende des 19. Jahrhunderts vollbracht. Auf der Fahrt Richtung Klausenpass trifft man auf Zeitzeugen, die auf den frühen Einsatz von Speicherkraftwerken für die Textilindustrie hinweisen. Aber auch heute wird dort Pionierarbeit geleistet, denn es entsteht ein Pumpspeicherwerk der Superlative. Mit einer Anlagenleistung von insgesamt 1 GW und variabler Drehzahl wird es bald einen Beitrag zur Netzstabilität und zur Einbindung volatiler erneuerbarer Energien leisten.

Radomír Novotný

Fährt man auf der Hauptstrasse durch Linthal auf der Suche nach dem Axpo-Unterwerk, kann es leicht geschehen, dass man sich plötzlich auf dem Klausenpass wähnt, statt die unscheinbare Abzweigung Richtung Tierfehd genommen zu haben. Kaum zu glauben, dass durch diese enge Zufahrt mehrfach Material im dreistelligen Tonnenbereich zur Baustelle des Linthal-Projektes transportiert wurde.

Das Projekt Linthal 2015 ist eine Erweiterung der bestehenden Anlage. Nicht nur die Leistung wird dabei erhöht, sondern durch die neuen drehzahlvariablen Antriebe auch die Flexibilität. Um diese Leistungssteigerung zu ermöglichen, wurde der Nutzinhalt des höher gelegenen Speichersees, des Muttsees, mit einer Staumauer um über 250 % erhöht. Für den Pumpbetrieb wird Wasser vom unteren Speicher, dem Limmernsee in den Muttsee gepumpt.

Drehzahlvariable Antriebe

Drehzahlvariable Antriebe ermöglichen die Regelung im Pumpbetrieb und somit eine Primär-Frequenzregelung auch im Pumpbetrieb statt nur beim Turbinieren. Zudem wird durch die Regelbarkeit im Pumpbetrieb ein «flexibleres» Speichern der stochastisch anfallenden Windenergie möglich.

Für einen stabilen Netzbetrieb ist die rotierende Masse im Netz wichtig, denn sie regelt sich selbst: Eine Verringerung der Netzfrequenz bremst die Masse ab und es geht Leistung ins Netz. Varspeed-Antriebe verstärken diesen Schwungrad-Effekt zusätzlich, denn sie können durch die Drehzahlregelung viel stärker als Synchronmaschinen aktiv abgebremst werden.

Das neue Pumpspeicherwerk ist mit vier doppeltgespeisten Asynchronmaschinen und reversiblen Francisturbinen von Alstom ausgestattet, die mit variabler Drehzahl betrieben werden können. Solche Varspeed-Systeme sind heute immer noch selten, ausser in Japan, wo sie bereits seit den 1990er-Jahren eingesetzt werden.

Im deutschen Pumpspeicherwerk Goldisthal hat es zwei synchrone und zwei asynchrone Maschinen. In Avce, Slowenien, hat es eine asynchrone Einheit. Im Grimsel-Kraftwerk hat man eine der vier Synchronmaschinen nachträglich mit einem Vollumrichter ausgestattet, um sie drehzahlvariabel betreiben zu können. Im Bau stehende Varspeed-Anlagen findet man in Frades, Portugal, Nant-de-Drance, Wallis, im französischen Le Cheylas und im indischen Tehri.

Ob man für einen Varspeed-Antrieb einen Synchronmotor mit Vollumrichter oder eine doppeltgespeiste Asynchronmaschine verwendet, hängt hauptsächlich von der Leistung und vom vorhandenen Platz ab. Theoretisch ist es möglich, alles mit Synchronmaschinen und Vollumrichter zu realisieren, aber der Umrichter muss für die gesamte Leistung dimensioniert werden. Er wird entsprechend gross und passt nicht in alle Kavernen. Zudem verringert sich beim Einsatz eines Vollumrichters der Wirkungsgrad der Anlage. Vor ein paar Jahren lag die aus ökonomischer Sicht realistische Grenze für Vollumrichter noch bei 50 MW, heute liegt sie eher bei 100 MW. Technisch können Vollumrichter viel grösser gebaut werden.

Will man keine Vollumrichter verwenden, hat man bei Umbauten aber manchmal das Problem, dass die zu installierende Horizontal-Asynchronmaschine

No

Bild 1 Die 2014 fertiggestellte Gewichtsstaumauer am Muttsee ist mit rund 1 km Länge die längste Staumauer der Schweiz.

No

Bild 2 Bau des Stators einer der vier 250-MW-Maschinen in der Kaverne.

zu gross ist, denn die Fundamentblöcke der kleineren Synchronmaschine sind vorgegeben. Dies war beispielsweise beim erwähnten Grimsel-Kraftwerk der Fall. Hauptsächlich aus ökonomischen Gründen hat man sich bei Linthal 2015 für Asynchronmotoren entschieden.

Linthal-Antriebe im Detail

Die Nenndrehzahl der Linthal-Rotoren beträgt 500 min^{-1}; sie kann um ±6 % variiert werden. Dieser Bereich scheint klein, aber es muss berücksichtigt werden, dass der Zusammenhang zwischen Leistung und Drehzahl nicht linear ist. Bezüglich Leistung liegt im Turbinenbetrieb der Einstellbereich bei etwa 40 – 100 %, im Pumpbetrieb bei rund 70 – 100 %, ist also leicht kleiner. Der Leistungsbereich wird oben durch die maximal zur Verfügung stehende elektrische Leistung beschränkt. Die untere Grenze ist einerseits hydraulisch bedingt (Pumpturbine), andererseits durch die Drehzahl. Dies kommt aber nur bei sehr kleinem Gefälle vor, d.h. wenn der See praktisch leer ist. Wird von Umrichterherstellern für Vollumrichter mit Synchronmaschine ein Einstellbereich von 0 – 100 % angegeben, so stimmt das für die elektrische Maschine und den Umrichter. Der tatsächliche Betriebsbereich wird aber durch die Hydraulik eingeschränkt. Bei Projekten wird der hydraulische Drehzahlbereich so spezifiziert, dass er für das jeweilige Projekt optimal ist.

Konstruktionsfragen

Eine der grössten Herausforderungen bei der Entwicklung der Linthal-Maschinen war die Wickelkopfabstützung auf dem Rotor. Es gibt dazu verschiedene Möglichkeiten: Man kann den Rotor mit einer Stahlkappe umgeben, ihn in Keflar einwickeln (in Japan verbreitet) oder den Wickelkopf mit Bolzen fixieren. Jede Variante hat Vor- und Nachteile, auch im Wartungsfall.

Die Kombination der Herausforderungen bei der Entwicklung solcher Rotoren ist gemäss Alexander Schwery, Entwicklungsleiter bei Alstom, nicht zu unterschätzen. Man muss isolieren, Spannungsabstände einhalten und muss den magnetischen Fluss beherrschen. Zudem muss man kühlen und benötigt deshalb Löcher für die Kühlluft, die wiederum die mechanische Stabilität beeinträchtigen. Die Auswahl des Blechmaterials ist dabei zentral, da der magnetische Fluss nicht konstant ist und so Eisenverluste entstehen. Da der magnetische Fluss im Rotor bei Synchronmaschinen konstant ist, steht die mechanische Belastung im Vordergrund. Die Kombination von hoher mechanischer Belastbarkeit und niedrigen Eisenverlusten war eine neue Forderung.

Im Fehlerfall

Die Maschinen sind für den gravierendsten Fall ausgelegt. Auch wenn man nichts unter Kontrolle hat, darf bei einem Lastabwurf, d.h. bei grossen Netzstörungen im Übertragungsnetz, nichts passieren. Bei einem Lastabwurf lässt sich die Leistung nicht mehr abführen und die Maschine beschleunigt. Wenn es beispielsweise Probleme mit dem Kugelschieber oder den Leitschaufeln gibt, dreht die Maschine auf die maximale Drehzahl hoch. Je nach Auslegung des hydraulischen Kreises kann man mit einer bestimmten Geschwindigkeit reagieren, denn die entstehende Druckwelle muss unter Kontrolle bleiben und es darf im unteren Kreis kein Vakuum entstehen. Ein zu schnelles Schliessen des Wasserflusses könnte zu Überdruck in der Druckleitung führen.

Wartungsthemen

Bei der Asynchronmaschine ist die Schleifringwartung ein anspruchsvolles Thema, weil ein Dreiphasennetz – statt Gleichstrom – mit grösseren Leistungen auf den Rotor gebracht wird. Gegenüber einer klassischen Synchronmaschine ist der Aufwand erheblich grösser, denn bei

ABB

Bild 3 Transport eines Transformators mit einem Leergewicht von 190 t von Bad Honnef bei Bonn ins Glarnerland.

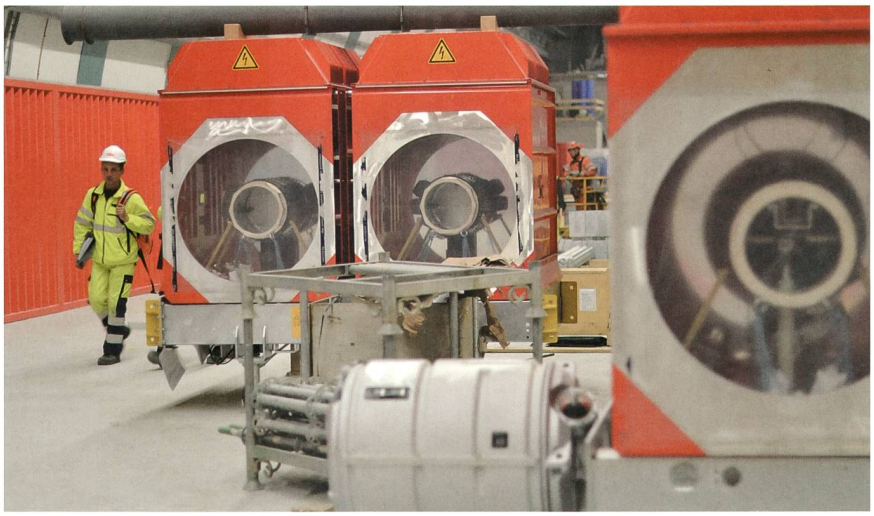

Bild 4 Generatorschalter im Montagebereich der Maschinenkaverne. Die Schalter werden bei ABB in Oerlikon hergestellt.

der Synchronmaschine hat man nur zwei Schleifringe. Die Kohlen müssen periodisch gewartet werden.

Es kann sowohl bei Synchron- als auch bei Asynchronmaschinen vorkommen, dass Probleme auftreten, denn die Physik auf der Kontaktfläche ist relativ komplex: Strom wird übertragen, Reibung und Wärme sind präsent. Wenn diese Faktoren gut zusammenpassen, bildet sich auf dem Schleifring eine Patina, d.h. eine Schutzschicht, die für eine zuverlässige Funktion wichtig ist. Vor der Installation wird dies intensiv mit Modellen und mit verschiedenen Kohlentypen bei gleicher Stromdichte getestet. Auf der Maschine muss auch für das richtige Klima – Temperatur und Luftfeuchtigkeit – gesorgt werden. Eine aufwendige Staubabzugvorrichtung mit Filtern stellt sicher, dass der Kohlestaub keine Probleme in den Maschinen verursacht.

Elektrisches System

Die elektrotechnische Ausrüstung umfasst nebst den vier Maschinen, den Umrichtern und Turbinen von Alstom noch Komponenten von ABB: vier Transformatoren, die Hochspannungskabelverbindung vom Kraftwerk zum Unterwerk, die Generatorableitung, die Mittelspannungsanlagen, das Kraftwerkleitsystem, die Gleichspannungsversorgungs- und die Notstromanlage. ABB liefert auch eine 380-kV-GIS-Anlage. Die im Endausbau 40 m lange und 5 m hohe gasisolierte Schaltanlage ist in einem Nebenraum in der Transformatorkaverne installiert. Über eine 380-kV-Leitung wird von dort aus der Strom ins Netz eingespiesen.

Regelbare Transformatoren

Die vier regelbaren Transformatoren des neuen Pumpspeicherwerks haben eine Nennleistung von 280 MVA. Sie verbinden die 18-kV-Generatoren mit dem 400-kV-Hochspannungsnetz. Jeder komplett installierte und vollständig gefüllte Transformator wiegt rund 250 t, wobei das Kernblech alleine 117 t wiegt. Über 50 t Isolieröl werden pro Trafo verwendet. Mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 99,9812 % sind die Transformatoren energieeffizient. Noch effizientere Transformatoren wären nur bei grösserer Bauweise möglich, die im Linthal-Projekt aus Platzgründen (Logistik) nicht realistisch ist.

Das besondere an den Trafos ist die Tatsache, dass sie unter Last geregelt werden können (on-load tap changer) und so zur Regelung der Spannung und der Blindleistung verwendet werden können. Ergänzend dazu dient die variable Drehzahl der Maschinen hauptsächlich der Wirkleistungsregelung, obwohl auch sie in der Lage ist, Blindleistung in hohem Masse zu regeln. Die regelbaren Trafos und die Varspeed-Antriebe ergänzen sich also gegenseitig auf ideale Weise und bieten auch Sicherheit, wenn die Spannungsniveaus zukünftig ändern sollten.

Die gestaffelte Lieferung der Transformatoren war eine logistische Herausforderung. Zunächst mussten neun Tage Schifffahrt absolviert werden, bevor der jeweilige Transformator im Auhafen Birs-

Commentaire Electrosuisse / ETG

Nadia Nibbio
est présidente du comité ETG et responsable du Service systèmes de Romande Energie SA

Un nouveau rôle pour les grandes centrales de pompage-turbinage

L'usage du pompage-turbinage est commun depuis les années septante en Suisse : la centrale des Forces motrices Hongrin-Léman en fait office d'exemple. Or le contexte a fortement changé. Alors que la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche faisaient la promotion en 2012 du stockage de type pompage-turbinage comme l'un des meilleurs moyens de produire de l'énergie en période de fortes demandes, force est de constater que ce modèle économique souffre d'un changement de paradigme suite au profond bouleversement de l'évolution du marché de l'énergie.

En effet, avec une forte production provenant des centrales de type NER (nouvelles énergies renouvelables) en Europe du Nord, le modèle d'affaire des centrales de pompage-turbinage montre qu'il n'est plus possible de bénéficier des écarts importants existants entre les prix de l'énergie vendue dans les heures creuses (propice au pompage) et dans les heures pleines (propice au turbinage), le prix de l'énergie ayant fortement baissé ces 36 derniers mois. Ce phénomène a des impacts sur les centrales de stockage existantes car elles deviennent de moins en moins rentables, mais également sur les futures centrales car le prix bas de l'énergie décourage actuellement les entreprises électriques d'investir dans de nouveaux grands projets, tels que la centrale hydroélectrique de Nant de Drance.

Il faut également rappeler une deuxième opportunité apportée par les centrales de pompage-turbinage : si ce modèle d'affaire n'est plus adapté au marché électrique international actuel, ce genre d'ouvrages hydroélectriques pourrait avoir un rôle à jouer en tant que capacité de stockage pour la production intermittente des grandes centrales NER européennes. La Suisse pourrait tirer profit de sa position centrale en mettant à disposition des tampons énergétiques de fortes capacités afin de stabiliser le réseau THT et contrôler l'effet de balance éolien-solaire Nord-Sud.

Le projet Linthal 2015 s'inscrit dans une démarche où la Suisse a un rôle européen à jouer non seulement dans la production d'origine renouvelable, mais également dans le stockage de forte capacité.

feld auf einen 24-Achsen-Bahnwagen verladen wurde. Die Bahnreise bis zum Bahnhof Linthal dauerte zwei Nächte. Die letzte Strecke wurde auf 104 Rädern mittels Lastwagen bis Tierfehd absolviert. Dann wurde jeder Trafo mit der Standseilbahn bis zur Maschinenkaverne gebracht. Eine beträchtliche Leistung bei einer Steigung von maximal 24 %.

Muttsee-Staumauer

Gewöhnlich werden in den Alpen für Speicherkraftwerke Bogenstaumauern eingesetzt, die die Kräfte auf die Bergflanken übertragen. Beim Muttsee ist dies anders: Es wird eine Gewichtsstaumauer eingesetzt, die einen dreieckigen, unten sehr breiten Querschnitt hat. Das Gewicht der Mauer wirkt dem Wasserdruck entgegen. Die maximale Höhe der Mauer ist 36 m, die Länge beträgt 1025 m. Die Mauer erhöht den Nutzinhalt von ursprünglichen 9 Mio. m³ auf 25 Mio. m³.

Da die Mauer hauptsächlich aus Material besteht, das aus dem Ausbruch der Kavernen und Stollen stammt, entstanden durch das Projekt keine störenden Hügel.

Résumé **Une centrale de pompage-turbinage d'exception**

Aperçu des particularités du projet Linthal 2015

Des performances que l'on pourrait qualifier de « pionnières » ont été réalisées dans le domaine de l'énergie hydraulique dès la fin du 19e siècle dans le pays de Glaris. Les centrales d'accumulation y fournissaient autrefois déjà l'énergie nécessaire à l'industrie textile. Mais aujourd'hui encore, le pays de Glaris fait office de pionnier : une centrale de pompage-turbinage à tout point de vue exceptionnelle y est en cours de réalisation. Une puissance d'installation totale de 1 GW et un régime variable lui permettront bientôt de contribuer à la stabilité du réseau et à l'intégration des énergies renouvelables volatiles.

Les transformateurs employés peuvent être réglés en charge et ainsi servir à la régulation de la tension et de la puissance réactive. En complément, si le régime variable des machines est principalement destiné à la régulation de la puissance active, ces dernières sont également à même de réguler la puissance réactive dans une large mesure. Les transformateurs réglables et les entraînements Varspeed se complètent donc mutuellement de façon idéale et offrent également une sécurité pour le cas où les niveaux de tension devraient être modifiés à l'avenir. No

Ausblick

Mitte dieses Jahres sollten die Dammbalken im Ein-/Auslaufbauwerk entfernt werden und es wird erstmals Wasser in den Oberwasserstollen fliessen. Nach Abschluss des Probebetriebs soll Ende 2015 die Netzsynchronisation für die erste Maschinengruppe durchgeführt werden und ein Jahr später möchte man die gesamte Anlage in Betrieb nehmen.

Links

- www.axpo.com/axpo/ch/de/axpo-erleben/linthal-2015.html
- Video zum Bau von Linthal 2015: www.youtube.com/watch?v=uTfVcHCHLQw

Autor

Radomir Novotny ist Chefredaktor Electrosuisse beim Bulletin SEV/VSE.

Electrosuisse, 8320 Fehraltorf, radomir.novotny@electrosuisse.ch

Anzeige

Führend in der Automatisierung von Wasserkraftwerken

Rittmeyer AG
Inwilerriedstrasse 57
CH-6341 Baar
www.rittmeyer.com

rittmeyer BRUGG