

Modernisierung von Hydrogeneratoren

Seit dem Bau eines der ersten Wechselstrom-Wasserkraftwerke mit einer Leistung von 12,5 kW im Jahr 1882 ist nicht nur die Zahl, sondern auch die Leistung solcher Kraftwerke erheblich gestiegen. Das Kraftwerk am Drei-Schluchten-Damm in China hat zum Beispiel eine Gesamtleistung von 22500 MW. Viele Kraftwerke wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gebaut, und einige sind seit über 100 Jahren im Betrieb. Während sich die Staudämme relativ wenig verändert haben, hat die Verbesserung der Effizienz bei den Turbinen zu höheren Wellenleistungen und somit höheren Erzeugungsleistungen geführt.

Die Isolationssysteme von Hydrogeneratoren haben eine beschränkte Lebensdauer und müssen für gewöhnlich nach 50 Jahren neu gewickelt werden – obwohl einige Isolationssysteme schon deutlich länger halten. Muss ein Generator neu gewickelt werden, bietet es sich an, auch über eine Steigerung der Nennleistung nachzudenken. Moderne Isolierstoffe sind nicht nur dünner denn je, sondern auch in der Lage, größeren dielektrischen Belastungen und höheren Betriebstemperaturen standzuhalten, als die ursprünglich für die Stator- und Rotorwicklungen verwendeten Materialien. Abbildung 1

zeigt, wie die Statorspule einer älteren Maschine (aus den 1950er Jahren) neu aufgebaut wurde, um deren Leistungsfähigkeit zu verbessern und die Lebensdauer der Isolierung zu verlängern.

Eine dünnere Isolation steigert die Auspeisung

Es ist deutlich zu sehen, dass die dünnere Isolierung heutiger Systeme mehr Raum für das Kupfer bietet, wodurch sich der Widerstand der Statorwicklung reduziert. Dadurch bleibt die Wicklung kühler, was eine geringfügige Steigerung der Leistung ermöglicht. Durch die höhere Temperaturbeständig-

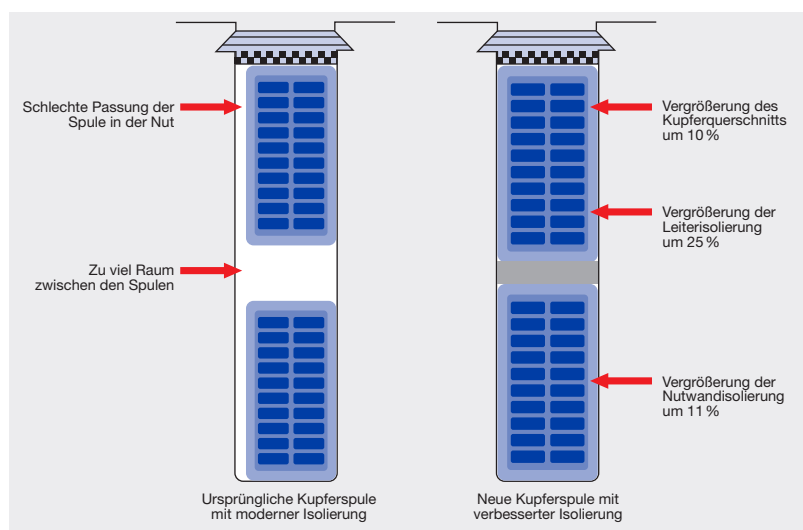
keit heutiger Isolationssysteme sind zudem höhere Betriebstemperaturen und somit höhere Leistungen möglich.

Soll ein Generator aufgerüstet werden, sind bestimmte Berechnungen zur Auslegung des Systems für die neue Nennleistung erforderlich. Dazu gehören Betriebskurven, Erregungskurven, Reaktanzen, Zeitkonstanten usw. Bevor die Leistung gesteigert werden kann, muss mithilfe von verfügbaren Daten des Kraftwerksbetreibers und Vor-Ort-Messungen ein Modell des ursprünglichen Maschinendesigns und der ursprünglichen Nennleistung erstellt werden. Dieses Modell muss das elektromechanische und thermodynamische Leistungsvermögen der ursprünglichen Maschine beim Vergleich mit den originalen Leistungsdaten und den Betriebsaufzeichnungen des Kraftwerks hinsichtlich des Temperaturanstiegs und des Erregerstroms bei bestimmten Leistungen genau widerspiegeln.

Verbesserte Leistung

Nach Erstellung und Verifizierung des Designmodells wird dieses zur Evaluierung von Verbesserungen des Statorspulendesigns und zur Bestimmung der Temperaturanstiege beim Betrieb mit der neuen Nennleistung eingesetzt. Die vom Betreiber benötigten Leistungsdaten

1 Überarbeitung der Spule eines Generators aus den 1950er Jahren.





2 Zugang zu den unterirdischen Generatoren des Barron-Gorge-Kraftwerks in Queensland, Australien.



3 Die Regenwaldschlucht «Barron Gorge».

werden vom Designprogramm generiert. Umfasst die Modernisierung den Austausch des Statorkerns, besteht die Möglichkeit, einen verlustärmeren Magnetstahl einzusetzen. Dabei müssen allerdings die höheren Erregungsanforderungen des verlustärmeren Stahls berücksichtigt werden.

In einigen Fällen ist auch eine Verbesserung des Leistungsvermögens durch Anpassung der Nutabmessungen möglich, obwohl die Qualität vieler ursprünglicher Nutkonstruktionen gemessen an den seinerzeit verfügbaren konstruktiven Berechnungsmethoden erstaunlich gut ist. Eine Optimierung der Streuverluste lässt sich durch eine andere Art der Verdrillung der Statorspule zur Reduzierung von Wirbelstromverlusten oder durch Verwendung von Wicklungsabdeckungen aus nichtmagnetischem Material erreichen.

Generell erfordert jede Steigerung der Generatorleistung eine Erhöhung des Erregerstroms für den Rotor. Dies erhöht die Gesamtverluste innerhalb der Maschine, was wiederum mit einem Anstieg der Betriebstemperaturen von Stator und Rotor verbunden ist.

Modernisierung des Barron-Gorge-Kraftwerks

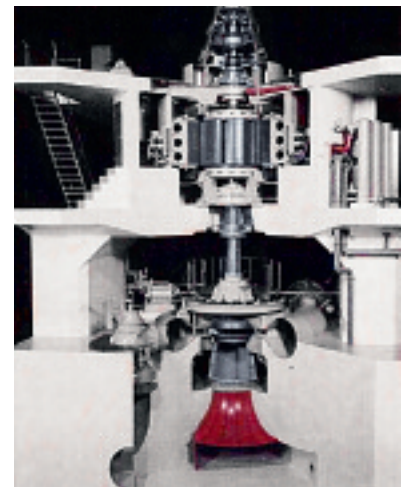
Eine solche Neuwicklung und Aufrüstung eines Hydrogenerators wurde im Barron-Gorge-Kraftwerk durchgeführt, das in einem zum UNESCO-Weltnaturerbe gehörenden tropischen Regenwaldgebiet im australischen Queensland betrieben wird 2|3. Das Wasserkraftwerk wurde Anfang der 1960er Jahre gebaut und ging im Jahr 1963 in Betrieb. Das unterirdische Werk war ursprünglich mit zwei vertikalen, zehnpoligen 30-MW-Generatoren ausgestattet, die von Francis turbinen angetrieben wurden.

Im Jahr 2009 führte Sulzer eine Neuwicklung und Leistungssteigerung des ersten Generators von 30 MW auf 35 MW durch und ist zurzeit dabei, die Neuwicklung und Aufrüstung des zweiten Generators abzuschließen. Der ursprüngliche Arbeitsumfang sah eine Neuwicklung des Stators, die Neuinsolierung des Rotors und – falls erforderlich – die Neuwicklung der Erregermaschine vor. Eine Prüfung des Statorkerns, die nach der Demontage der Statorwicklung durchgeführt wurde, ergab jedoch erhebliche Mängel im Statorkern, die dessen Austausch erforderlich machten. Der Kunde stimmte einer Erweiterung des

Arbeitsumfangs und Ergänzung des Programms um den Austausch des Kerns zu.

Bei der Demontage des Kerns wurden weitere Mängel am Statorgehäuse festgestellt, die während der Vorlaufzeit für den neuen Statorkern behoben wurden. Die Arbeiten umfassten unter anderem die Fertigung und Anpassung neuer Schwalbenschwanzprofile, Kernbolzen sowie eines neuen Pressplattensystems. Durch die Überarbeitung der Statorspule wurde der Leiterquerschnitt etwas vergrößert (3,12%), während die verbesserte Verdrillung für eine Reduzierung der Streuverluste sorgte. Dadurch konnte die Generatorleistung innerhalb der in der Ausschreibung festgelegten Grenzen für den Temperaturanstieg von 65 °C um 16,67% erhöht werden. Das Isolationsystem wurde erfolgreich einer Dauerspannungsprüfung über 400 Stunden

5 Schnittmodell des Kraftwerks.



4 Blick in die Maschinenhalle des Barron-Gorge-Kraftwerks.

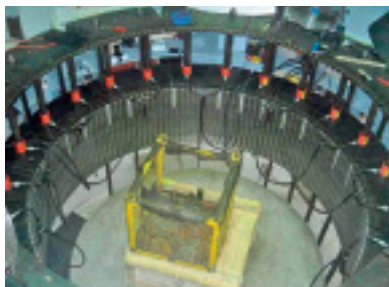




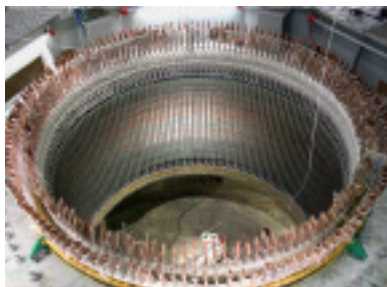
a) Erfassung der ursprünglichen Wicklungsdaten



b) Demontage der ursprünglichen Wicklung



c) Aufbau und Verdichtung des neuen Kerns



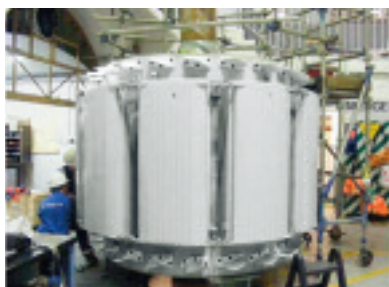
d) Einsetzen der neuen Spulen



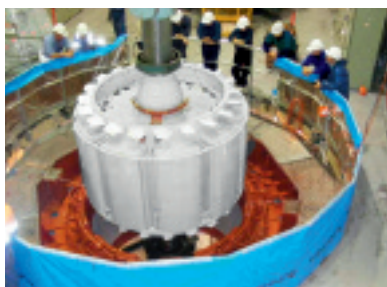
e) Anschluss der Statorwicklung



f) Fertige Statorwicklung



g) Neu isolierter Rotor



h) Montage des Generators

gemäß IEEE unterzogen. Abbildung 4 zeigt den Maschinenflur und Abbildung 5 ein Schnittmodell des Kraftwerks.

Eine bedeutende Veränderung im Generatordesign betraf die Methode zur Reduzierung der Wirbelstromverluste in der Statorwicklung. Beim ursprünglichen Design waren das obere und untere Leiterpaket nach jeweils einem Viertel und drei Vierteln der Länge jeder Phase sowie die oberen und unteren Hälften des Leiterpakets zur Hälfte der Phase um 180° verdreht. Das neue System verfügt über doppelte Oben-Oben- bzw. Unten-Unten-Verdrillungen an allen Spulenanschlüssen.

10%ige Reduzierung der Verluste

Die Blechsegmente des Austauschkerne wurden aus einem Magnetstahl gefertigt, der eine 10%ige Reduzierung der Verluste gegenüber dem ursprünglich verwendeten Material ermöglichte. Die Feldspulen des Rotors wurden demon- tiert und ebenso wie die Gleichstrom- Erregermaschine mit Isolierstoffen der Klasse F neu isoliert. Die Gleichstrom- erregermaschine wurde überarbeitet, um eine Erhöhung der Stoßerregung von 150% auf 200% zu ermöglichen.

Die Neuwicklung vor Ort erfolgte mithilfe von Mitarbeitern aus England und Australien. Die australische Nieder-

6 Phasen der Neuwicklung.

lassung von Sulzer Dowding & Mills in Brendale, Brisbane, zeichnete für die Neuwicklung der Feldspulen und der Erregermaschine verantwortlich. Die besondere Lage des Kraftwerkstandorts in dem zum UNESCO-Weltnaturerbe gehörenden tropischen Regenwaldgebiet brachte einige zusätzliche ökologische Herausforderungen für das Projektmanagement mit sich.

Verbesserte Generatoreffizienz

Die einzelnen Phasen der Neuwicklung sind in 6^{a-h} zu sehen. Der Wirkungsgrad des Generators konnte von 97,99% vor der Neuwicklung auf 98,09% nach der Neuwicklung gesteigert werden. Die Verluste des Generators vor und nach der Neuwicklung sind in 7 aufgeführt.

Die erste Neuwicklung wurde im Rahmen des mit dem Kunden abgestimmten erweiterten Programms durchgeführt. Die zweite Neuwicklung wird demnächst vier Wochen früher als geplant abgeschlossen sein. Die Prüfungen nach Fertigstellung der ersten Neuwicklung erfüllten die Anforderungen des Kunden, und während der starken Regenfälle zu Beginn dieses Jahres lief der neu gewickelte Generator kontinuierlich mit maximaler Leistung.

Generator	Original	Erneuert
MVA	33,33	39,00
MW	30,00	35,00
Feste Verluste	kW	kW
Reibungs-, Lüftungs- und Eisenverluste	361	361
Erregerverluste bei Leerlauf	24,7	24,7
Variable Verluste		
Erregerverluste bei Vollast Stator- und Streuverluste	60,3	78,1
bei Vollast	173,0	219,7
Gesamtverluste	616,0	683,5
Wirkungsgrad	97,99	98,09
Temperaturanstieg Stator	46 °C	53 °C
Temperaturanstieg Rotor	43 °C	55 °C

7 Generatorverluste vor und nach der Neuwicklung.

John Allen
Sulzer Dowding & Mills
Camp Hill, Bordesley
Birmingham, B12 0JJ
Großbritannien
Telefon +44 121 766 6161
john.allen@sulzer.com