

Sicherheit in einer neuen Dimension

Sicherer Betrieb des Wasserkraftwerkes „Drei Schluchten“ durch SIPROTEC 4.

■ Das Projekt

1992 beschloss der chinesische nationale Volksrat den Bau des Staudammprojekts „Drei Schluchten“ am größten asiatischen Fluss Jangtsekiang (Yangtse). Fünf Jahre später wurde in der Provinz Hubai in der Nähe der Städte Sandouping und Yichang, unmittelbar vor den drei Schluchten mit der Errichtung des Dammes und des Wasserkraftwerkes begonnen.

Der Staudamm hat im Endausbau eine Höhe von 185 m und eine Breite von 2305 m. Der aufgestaute See wird sich über eine Strecke von ca. 660 km ausdehnen und das größte gestaute Wasserreservoir der Welt sein. Die erste Teilflutung des Dammes begann im Juni 2003 und die endgültige Fertigstellung dieses gigantischen Bauwerkes ist für 2009 geplant.

Mit dem Projekt verfolgt China drei Ziele:

- Gewinnung von Elektrizität
- Bessere Schiffbarkeit des Yangtse (bisher nur auf einer Länge von 2800 km befahrbar)
- Hochwasserschutz für die gesamte Region

Das weltgrößte Wasserkraftwerk

Im Endausbau ist geplant, dass das Drei-Schluchten-Kraftwerk ungefähr 9 % des gesamten Strombedarfs von China deckt. 26 Turbinen und Generatoren mit einer Leistung von 18 200 MW speisen dann Energie ins Stromnetz ein. Jede der Turbinen ist für eine Leistung von 700 MW ausgelegt. Mit der Fertigstellung des ersten Teilabschnittes Ende 2004 wurden 14 Generatoren an das Netz angeschlossen.

Zahlreiche primärtechnische Komponenten werden von Siemens PTD geliefert. So wurden von PTD Transformers 14 Maschinentransformatoren mit einer Nennleistung von 840 MVA und Oberspannung von 550 kV gefertigt. PTD High Voltage sorgt mit 550-kV-HGÜ-Systemen für den zuverlässigen Weitertransport der Elektroenergie.

■ Die Ausgangssituation

Die Errichtung eines Wasserkraftwerkes ist immer wieder eine technische und logistische Herausforderung, da viele Variable eingeplant werden müssen. Die immensen Dimensionen und freisetzbaren Kräfte des Wasserkraftwerkes verlangten –



Bild 1 Drei Schluchten



Bild 2 Ausbaustufe des Staudamms

Immense Energiereserven

gerade bei den Sicherungsmaßnahmen – maßgeschneiderte Lösungen. Die Francis-Turbine hat einen Wasserdurchsatz von 996 m³/s und einen Turbinendurchmesser von 9,4 m. Im Ständer des Generators (Innendurchmesser 18,5 m) könnte ein ganzes Orchester Platz finden (siehe Bilder 3 bis 5).

Auf der anderen Seite erfordern auch begrenzte Platzverhältnisse – beispielsweise von den Maschinentransformatoren – eine extrem kompakte Bauweise. Für den Drei-Schluchten-Staudamm wurden sie in Nürnberg gefertigt und per Schiff zur Baustelle transportiert.



Bild 4 Turbinenrad

Bild 3
Turbinenwelle

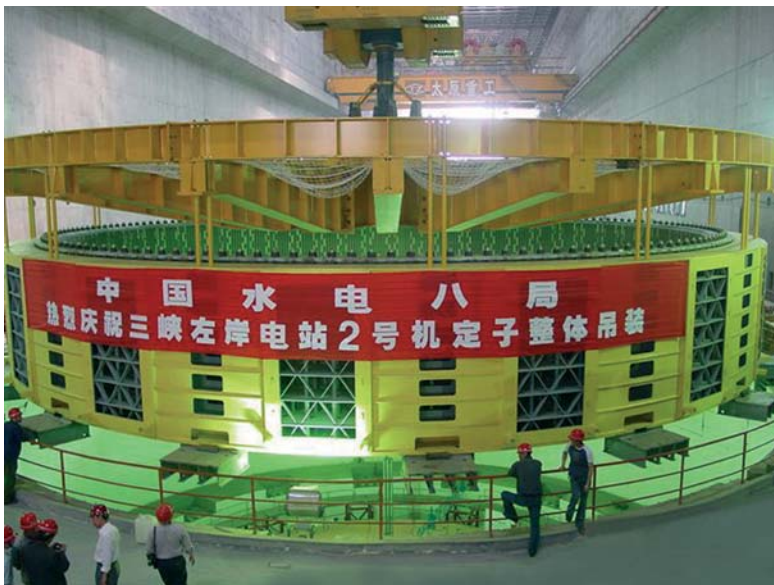


Bild 5 Absenken des Generatorständers

Das Konzept

Mit SIPROTEC 4 kam die modernste Schutztechnik zum Einsatz. Diese schützt sowohl den Generator als auch den Maschinentransformator einschließlich der Netzeinspeisung. In gewohnter Form lieferte Power Automation die Schutzschränke, eine umfangreiche Dokumentation und den Schutzeinstellbericht. Der erste Lieferumfang für 6 Generatoren betrug 12 Schutzschränke.

Durch die leistungsfähigen SIPROTEC-Schutzgeräte von Siemens konnte mit wenigen Geräten (2 x 7UM622, 5 x 7UT612 und 2 x 7SJ611) ein durchgängiges Redundanzkonzept realisiert und das n-1-Prinzip erfüllt werden. Bild 6 zeigt das schutztechnische Grundkonzept. Die beiden 7UM622 schützen den Generator und sind der Reserveschutz für den Maschinentransformator bzw. das Netz (Impedanzschutz bzw. oberspannungsseitiger Überstromschutz). Vom Funktions-

umfang wurde die Maximalfunktionalität ausgewählt und der überwiegende Teil der Funktionen aktiviert. Somit werden Ständererdschlüsse (90% und 100 % mit dem 20-Hz-Prinzip), Läufererdschlüsse (1-3 Hz-Messprinzip), Kurzschlüsse (Differential-, Impedanz- und Überstromschutz), unzulässige Belastungen (Überlast- und Schief-lastschutz) und Fehler in der Erregung bzw. bei der Regelung (Untererregungs-, Überspannungs- und Frequenzschutz) sicher durch die Geräte erfasst. Um Schäden am Kraftwerksblock durch Wirkleistungspendlungen zu vermeiden, ist zusätzlich der Außertrittfallschutz aktiv.

Zwei 7UT612 bilden den Hauptschutz für den Maschinentransformator und je ein 7UT612 den Hauptschutz für den 15-MVA-Eigenbedarfstransformator sowie für den 6,6-MVA-Erregertransformator. In den Geräten für den Maschinentransformator ist neben dem Differentialschutz noch der Überstromschutz am Transformatorsternpunkt zur Erfassung von hochspannungsseitigen Erdkurzschlüssen aktiviert.

Der fünfte 7UT612 wurde zusätzlich als Querdifferentialschutz am Generator eingesetzt, um Windungsschlüsse zu erfassen. Dieses Schutzprinzip ist eine Besonderheit bei Wasserkraftgeneratoren. Um die großen Nennströme (ca. 24 000 A) zu bewältigen, ist die Ständerwicklung pro Phase auf mehrere Stränge aufgeteilt. Damit liegen pro Phase mehrere Stäbe in einer Nut. Isolationsfehler zwischen den Stäben bedeuten einen Windungsschluss, der zu hohen Kreisströmen innerhalb einer Wicklung und zu enormen Schäden am Generator führt. Hier bietet der Querdifferentialschutz die entsprechende Empfindlichkeit, Schnelligkeit und Stabilität.

Eine alternative, vereinfachte Lösung ist die Erfassung des Ausgleichstromes zwischen den beiden Sternpunkten der aufgeteilten Ständerwicklung. Hierzu wird die empfindliche Erdstromfunktion im 7UM62 genutzt. Sie ist damit das redundante Prinzip zum Querdifferentialschutz.

Eine weitere Besonderheit des Blockschutzes ist die Verarbeitung nichtlichtelektrischer Signale, wie z.B. vom Buchholzschutz, der Öldrucküberwachung, der SF6-Drucküberwachung an den Durchführungen und sonstiger maschinentechnischer Signale. Hierzu wurden in den 7UM's die direkten Einkopplungen genutzt.

Mit der integrierten Logikfunktionalität (CFC) konnten notwendige Verriegelungen und logische Verknüpfungen realisiert werden. Dies führte zu einer Reduktion des Verdrahtungsaufwandes und der Einsparung externer Hilfsrelais.

In Abhängigkeit von den Fehlerbedingungen sind die unterschiedlichen Schalter zu betätigen. Die logische Zuordnung und die erforderlichen Abschaltprogramme wurden über die programmierbare Softwarematrix realisiert. Damit können die Schalter von den Binärausgängen direkt angesteuert werden.

Im Bild nicht dargestellt ist die Kommunikation. Die Schutzeinstellung und das Auslesen der Daten im Störfall erfolgt vom Schutzexperten mittels DIGSI direkt an den Geräten. Die für das Betriebspersonal relevanten Meldungen und Messwerte werden über PROFIBUS DP zur Kraftwerksleittechnik übertragen und dort visualisiert.

Vertrieb

Entsprechend der Kundenausschreibung wird das Schutzkonzept festgelegt, die erforderlichen Schutzgeräte ausgewählt und das Gesamtangebot erstellt. Die Besonderheit bei Wasserkraftwerken und insbesondere bei dem Drei-Schluchten-Projekt ist die lange Realisierungsdauer.

In die Projektlaufdauer muss deshalb auch die Geräteentwicklung einberechnet werden, um technisch immer up to date zu sein. Zu Beginn des Drei-Schluchten-Staudamm Projekts waren beispielsweise die SIPROTEC 4-Schutzgeräte gerade eingeführt worden, die Vorzüge der neuen Technologie waren in Fachkreisen noch nicht ausreichend bekannt. Der Einhaltung von Entwicklungsterminen und der Produktqualität kam deshalb entscheidende Bedeutung zu.

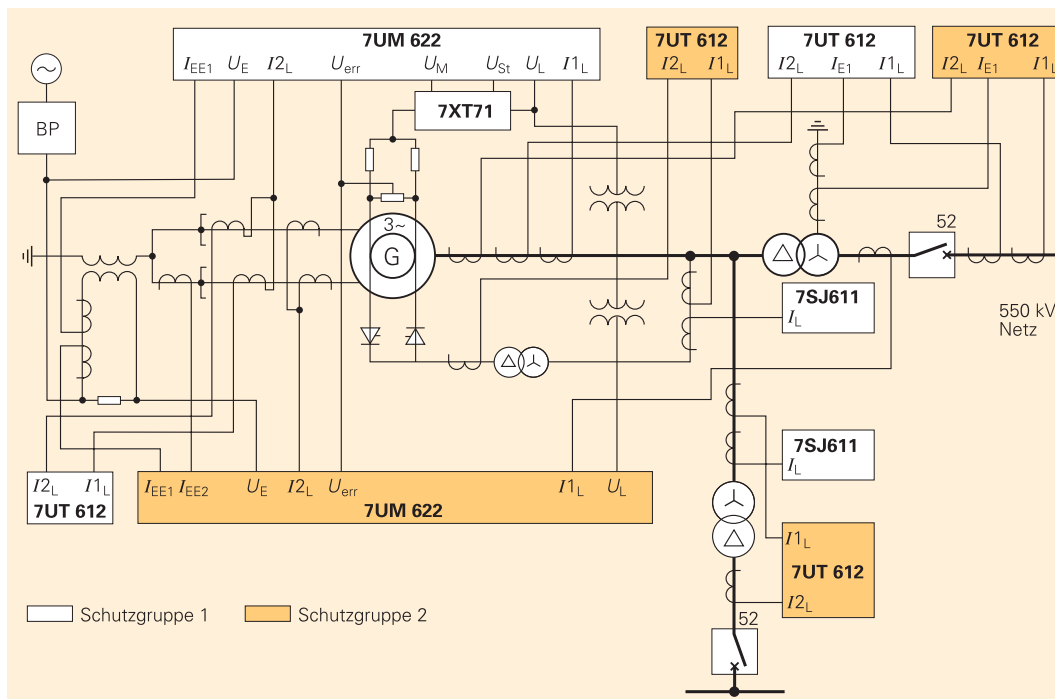


Bild 6 Schutzkonzept, Single-Line-Diagramm

■ Die besonderen Vorteile

Systemgeschäft ist Teamarbeit

Systemgeschäft heißt Komplettanlagen termin- und qualitätsgerecht dem Kunden zu übergeben. Dabei gilt es oft auch firmenübergreifend die unterschiedlichsten Gewerke und Personen zu koordinieren. Innerhalb von Siemens ist die Wertschöpfung auf folgende Säulen verteilt:

Engineering

Nach der Auftragserteilung beginnen die Detailarbeiten. Die Klärungen und Auslegungen von den zu liefernden Teilkomponenten sowie die Erstellung des Schaltbuches sind hier elementar. Im Fall des Drei-Schluchten-Staudammes musste die Stromwandlerauslegung bestätigt werden. Die Besonderheit des Projekts war, ein Optimum zwischen Wirtschaftlichkeit, dem begrenzten Platz für die Stromwandler und die zu erfüllenden dynamischen Eigenschaften (Sättigungsfreie Zeit) zu finden. Beispielsweise hat der abgangsseitige Stromwandler ein Übersetzungsverhältnis von 30 000 A auf 1 A.

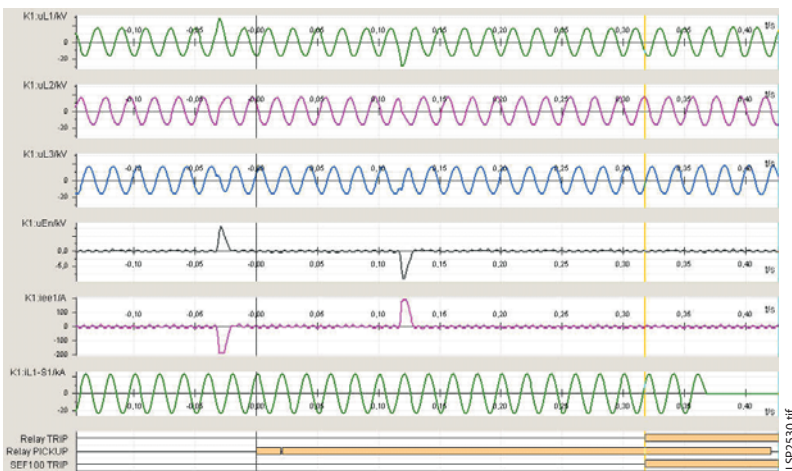
30 000 Windungen und das bei mehreren Kernen müssen dabei untergebracht werden, ohne die Übertragungseigenschaften zu beeinträchtigen. Gelöst wurde diese Herausforderung durch die Konstruktion von zwei Linearkernen TPY neben einem eisengeschlossenen Kern 5P100 10 VA. Die Festlegung der Einstellwerte war ein weiterer wichtiger Bestandteil des Engineeringprojekts. In einem Einstellbericht müssen alle Einstellparameter nachvollziehbar dokumentiert werden. Durch die Besonderheiten bei den Wasserkraftwerken und die Grenzdimensionierung der Primäranlage (z.B. Maschinentransformator) war Erfahrung gefragt, damit alle Betriebs- und Gefährdungszustände richtig erfasst werden. Zusätzlich sind die erforderlichen CFC-Logiken zu erarbeiten und natürlich zu prüfen. Die Arbeiten enden mit dem erstellten Parametersatz in DIGSI. Gemäß dem Schaltbuch sind auch die erforderlichen Rangierungen (BE, BA, LED, CFC sowie seriellen Schnittstellen) durchzuführen.

Projektentwicklung

Hier stehen die Koordination der Gesamtarbeiten sowie die Klärungen offener Fragen im Mittelpunkt. Im Detail sind das die Gerätebestellung und die Abstimmung der Liefertermine mit dem Werk, die Koordination der Schrankfertigung, die Schnittstellenklärung und das gesamte Controlling sowie die Auftraggeberbetreuung (z.B. während der Schrankabnahme). Außerdem gilt es projektspezifisch Schulungen für die späteren Betreiber durchzuführen, um den reibungslosen Ablauf der Inbetriebnahme zu unterstützen.

Da die Kraftwerksleittechnik und die Kommunikationslösungen der Schutzgeräte von unterschiedlichen Herstellern geliefert wurden, fanden Integrationstests mit Mustergeräten statt. Ferner wurde in der Werkstadt Fürth ein Komplettest des Schutzsystems durchgeführt (Bild 8). Damit lief auf der Baustelle die Einbindung der Einzelkomponenten in die Gesamtanlage problemlos ab.

Bild 7
SIGRA-Aufzeichnung
von der Schutzauslösung



Aus der Praxis

Während des Probebetriebes kam es zum Erstaunen aller Beteiligten zu einer ersten Schutzauslösung durch den 100 %-Ständererdschlussschutz. Was war passiert? Bei laufender Maschine war ein weiteres Gerät aktiv, welches unter Betriebsbedingungen den Isolationswiderstand des Ständers überwachen sollte. Dieses Gerät verursachte einen Erdschluss, der sicher durch den 100 %-Schutz nach dem 20-Hz-Messprinzip erfasst und abgeschaltet wurde.

Nach der Schutzauslösung konnte einerseits dem Kunden gezeigt werden, wie leistungsfähig der Schutz von Siemens ist und andererseits welche Vorzüge die Digitaltechnik bietet. So lies sich mit den im Schutz gespeicherten Informationen einfach und unkompliziert der Fehler analysieren. Im Störfallpuffer wird millisekundengenau jede Reaktion der Schutzfunktionen mitprotokolliert und im Störschrieb werden die Momentanwerte der analogen Eingangsgrößen sowie zugeordnete Binärspuren geschrieben. Die Auswertung des Störschriebs erfolgt mit dem leistungsfähigen Tool SIGRA. Bild 7 zeigt den aufbereiteten Störschrieb. Deutlich zu erkennen ist die zweimalige kurzzeitige Erhöhung in der Verlagerungsspannung und im Erdstrom sowie ein Phasenwinkelsprung in den Leiter-Erde-Spannungen. Die binären Spuren zeigen die Reaktion der Schutzfunktion. Man sieht die Geräteanregung und die Auslösung durch den Schutz.



Bild 8 Prüfung der Generatorschutzschranke

Fazit

Trotz der immensen Dimensionen des Projektes und den Herausforderungen der Integration von Komponenten unterschiedlichster Hersteller kam es zu keiner Verzögerung in der Bau- oder Inbetriebnahmephase. Ein Grund war sicherlich die einzigartige Flexibilität der Siemens Technologie für den elektrischen Blockschutz, ein anderer das gute Teamwork aller Beteiligten, wie Vertrieb, Engineering, Projektentwicklung, Produktion sowie Entwicklung und die sehr gute Zusammenarbeit mit der Baustelle.