

4.3

Beherrschung von elektrischen Spannungstransienten – Internationale Entwicklungen zum Defence-in-Depth-Konzept



Robert Grinzinger

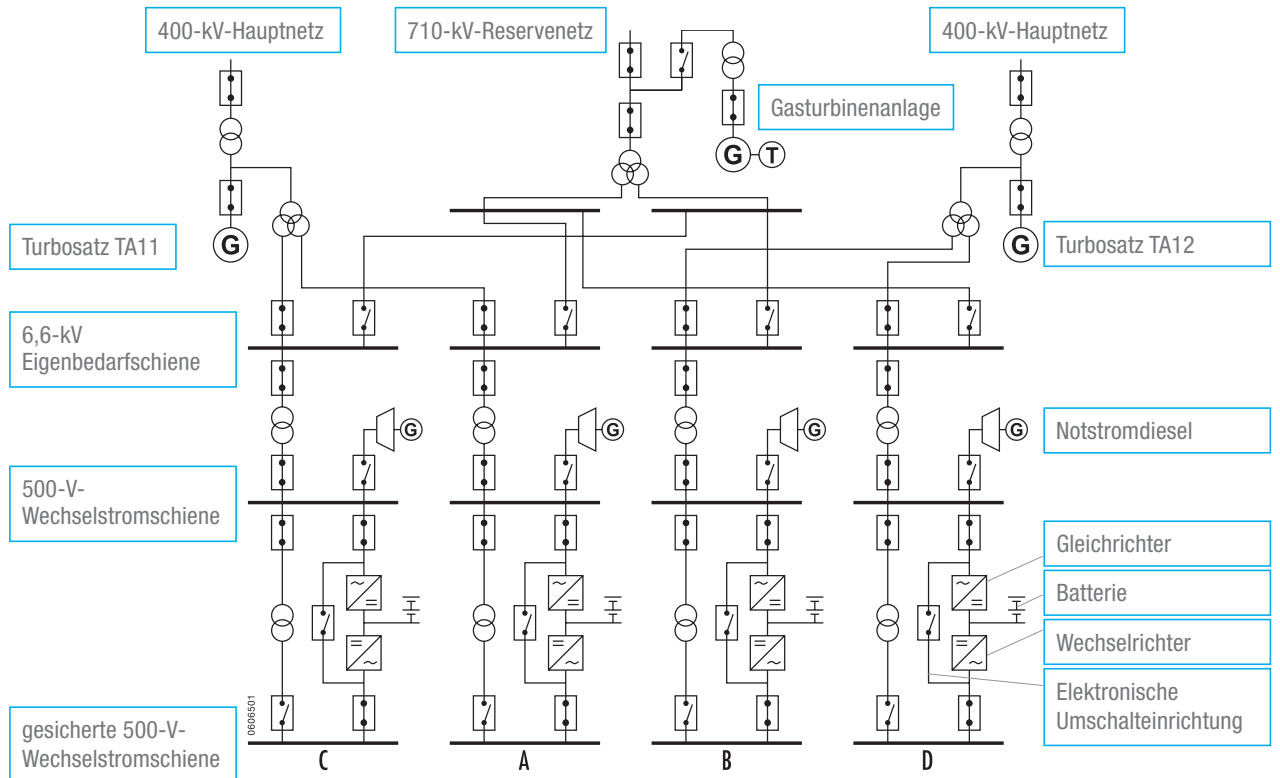
→ Ein Ereignis im Juli 2006 im schwedischen Kernkraftwerk Forsmark-1 hat eine Weiterentwicklung des Defence-in-Depth-Konzepts in der elektrischen Energieversorgung von Kernkraftwerken ausgelöst. Auf internationaler Ebene hat das Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI) der Nuclear Energy Agency der OECD (OECD/NEA) eine Arbeitsgruppe gegründet, deren wesentliche Ergebnisse – nach einer Kurzdarstellung des Ereignisses und dessen generischer Bedeutung – im Folgenden dargestellt werden.

Ereignisbeschreibung

Angaben zur Anlage. Bei Forsmark-1 handelt es sich um einen Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 1.011 MW. Die Anlage wurde von ABBATOM errichtet und befindet sich seit Ende 1980 im kommerziellen Leistungsbetrieb.

Die Eigenbedarfsanlage sowie die unterlagerte Notstromanlage des Reaktors sind jeweils viersträngig aufgebaut (s. **Bild 45** »ÜBERSICHTSSCHALTPLAN«). Im Normalfall erfolgt die elektrische Energieversorgung über die beiden Turbosätze, das 400-kV-Hauptnetz oder das 70-kV-Reservenetz. Daneben besteht eine Versorgungsmöglichkeit über eine Gasturbinenanlage.

Ablauf des Ereignisses. Das Ereignis wurde durch einen Kurzschluss im 400-kV-Hauptnetz außerhalb des Kraftwerkgeländes ausgelöst. Dadurch fiel das Hauptnetz aus und es kam zum sogenannten Lastabwurf auf Eigenbedarf. Die Anlage wurde vom Hauptnetz durch Öffnen der entsprechenden Schalter getrennt. Nach der Trennung erfolgte die elektrische Energieversorgung zunächst über die beiden Turbosätze. Aufgrund von Störungen fielen die Turbosätze nach kurzer Zeit aus, und es erfolgte eine Umschaltung auf das 70-kV-Reservenetz. Diese Umschaltung wurde aufgrund eines technischen Fehlers verzögert durchgeführt und hatte die Anregung der Notstromkriterien zur Folge. Dadurch wurde die 6,6-kV-Eigenbedarfsschiene von



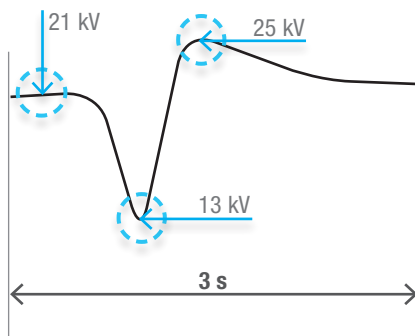
ÜBERSICHTSSCHALTPLAN

Bild 45

Vereinfachter elektrischer Übersichtsschaltplan des Siedewasserreaktors (SWR) Forsmark-1

der 500-V-Wechselstromschiene getrennt und die Notstromdiesel wurden gestartet. In zwei von vier Strängen der Notstromanlage erfolgte keine Zuschaltung der Notstromdiesel, wodurch zwei von vier Stränge der Notstromanlage ausfielen. Mit den verfügbaren Einrichtungen konnte die Anlage stabilisiert werden. Nach etwa einer halben Stunde gelang dem Schichtpersonal die Wiederherstellung der gesamten elektrischen Energieversorgung.

Ursache und Auslöser des Ereignisses. Ursache für den Ausfall der beiden Notstromdiesel war die während des Ereignisses auftretende Spannungstransiente. Ausgehend von 21 kV beim ungestörten Leistungsbetrieb fiel die Spannung durch den Kurzschluss im Hauptnetz auf ca. 13 kV (s. **Bild 46** »SPANNUNGSVERLAUF«). Nach der Abtrennung vom Hauptnetz, d. h. beim Lastabwurf auf Eigenbedarf, stieg die Spannung innerhalb von wenigen 100 ms auf 25 kV, bevor sie sich im weiteren Ereignisablauf wieder normalisierte. Diese Spannungstransiente hat sich über die Eigenbedarfsanlage in die Notstromanlage fortgepflanzt und verursachte dort in zwei Strängen die Schutzabschaltung der Gleich- und Wechselrichter. Die Wechselrichter versorgen die gesicherte 500-V-Wechselstromschiene, die ihrerseits solche Verbraucher versorgen, die für die Zuschaltung der Notstromdiesel-



SPANNUNGSVERLAUF

Bild 46
Spannungsverlauf während der ersten Sekunden des Ereignisses an den Generator клемmen

aggregate erforderlich sind. Somit war der Ausfall der 500-V-Wechselstromschiene in zwei von vier Strängen die Ursache für den Ausfall der beiden Notstromdiesel.

Die Schutzabschaltung der Gleich- und Wechselrichter ist auf eine systematische Fehleinstellung der Abschaltwerte zurückzuführen. Die Spannungstransiente am Gleichrichtereingang hatte eine Erhöhung der Ausgangsspannung des Gleichrichters bzw. der Eingangsspannung des Wechselrichters zur Folge. Dabei wurde der Schutz-AUS-Wert sowohl für den Gleich- als auch für den Wechselrichter erreicht (Gleichrichterausgangsspannung HOCH; Wechselrichtereingangsspannung HOCH). Durch einen zu geringen Abstand der beiden Schutz-AUS-Werte war keine selektive Abschaltung gegeben.

Defence-in-Depth-Konzept in der elektrischen Energieversorgung

Ziele und Anforderungen des Konzepts. Das sogenannte Defence-in-Depth-Konzept zielt darauf ab, dass das Versagen von Schutzmaßnahmen in einer Ebene durch Schutzmaßnahmen auf der nächsten Ebene aufgefangen wird. Dieses Konzept wird unter anderem durch Anforderungen nach hoher Qualität und Maßnahmen zur Fehlerbeherrschung auf den einzelnen Ebenen ergänzt. Bezogen auf die elektrische Energieversorgung von Kernkraftwerken ergeben sich danach unter anderem folgende Anforderungen:

- ⚡ Die eingesetzten Betriebsmittel zeichnen sich durch eine hohe Robustheit aus, (z. B. gegen elektrische Transienten und Elektromagnetische Beeinflussung).
- ⚡ Die Funktionsfähigkeit wird durch regelmäßige Tests und Inspektionen überprüft.
- ⚡ Das Personal ist gut ausgebildet und angemessen ausgestattet.
- ⚡ Die Sicherheitssysteme in der elektrischen Energieversorgung sind automatisiert, redundant und hoch zuverlässig.
- ⚡ Bei der Auslegung werden Fehler, wie z. B. kurzzeitiger Spannungsausfälle berücksichtigt.

Zur Vermeidung unzulässiger sicherheitstechnischer Auswirkungen bei Netztransienten ist dementsprechend als erste Maßnahme eine robuste Netzanbindung erforderlich. Um beim Ausfall des Hauptnetzes den Notstromfall zu vermeiden, sind die Maßnahmen Lastabwurf auf Eigenbedarf und Reservenetzumschaltung vorhanden, zur Beherrschung des Notstromfalls die Notstromdieselaggregate. Sollten – auslegungsüberschreitend – auch die Notstromdieselaggregate ausfallen, befindet sich die Anlage im sogenannten »station blackout«. Um auch bei diesem Szenario unzulässige sicherheitstechnische Auswirkungen zu verhindern, stehen die durch Batterien gestützte

Gleichstromversorgung und der dritten Netzan-schluss zur Verfügung.

Generische Bedeutung des Ereignisses

Abgeleitete sicherheitstechnische Konsequenzen.

Die generische Bedeutung des Ereignisses vom Juli 2006 in Forsmark besteht darin, dass ein Kurzschluss außerhalb des Kraftwerks aufgrund einer systematischen Fehleinstellung innerhalb des Kraftwerks den Ausfall von zwei Strängen des Notstromsystems verursacht hat. Im Vorfeld haben weitere Abweichungen vom spezifizierten Zustand (Störung von Turbosätzen, verzögerte Reservenetzumschaltung) zu einem Versagen mehrerer Maßnahmen zur Vermeidung des Notstromfalls geführt.

Die GRS hat aufgrund der generischen Bedeutung des Ereignisses eine Weiterleitungsnachricht verfasst. Darin empfiehlt die GRS u. a. sicherzustellen, dass störungsbedingte Spannungstransienten nicht zu unzulässigen Beeinträchtigungen sicherheitstechnisch wichtiger elektrischer Einrichtungen führen. Daneben wurde vom Verband der Großkraftwerksbetreiber (VGB) die Arbeitsgruppe »Forsmark« eingerichtet. Diese untersucht, inwieweit Optimierungsmöglichkeiten in der elektrischen Energieversorgung von Kernkraftwerken vorhanden sind.

Task Group DIDELESYS

Defence in Depth of Electrical Systems and Grid Interaction (DIDELESYS). Auf internationaler Ebene hat das CSNI der OECD/NEA im Jahr 2007 die Task Group »Defence in Depth of Electrical Systems and Grid Interaction« (DIDELESYS) gegründet, an der auch ein Vertreter der GRS teilnahm. Aufgabe der Task Group war es, in einem Bericht zwei Themenschwerpunkte aufzuarbeiten. Dies betraf zum einen die Robustheit von sicherheitstechnisch wichtigen elektrischen Systemen. Hierzu

sollten Informationen zum Stand der Technik unter Berücksichtigung neuer Technologien und Erfahrungen aus Modernisierungsmaßnahmen dargestellt werden. Zum anderen sollten mit Blick auf die Schnittstelle zwischen Kraftwerk und Verbundnetz Wege zur Verbesserung der Kommunikation und Koordination zwischen Netzbetreiber und Netzaufsicht, den kerntechnischen Behörden und Kraftwerksbetreibern aufgezeigt werden.

Zusammensetzung der Task Group. In der Task Group waren Vertreter aus neun Ländern und der EU mit den (in Klammern) aufgeführten Organisationen beteiligt: Belgien (Nuclear Safety Support Services), Finnland (STUK), Frankreich (IRSN), Deutschland (GRS), EU (Joint Research Centre), Japan (Japan Nuclear Energy Safety Organization), Schweden (Evergreen Safety & Reliability Technologies und SSM), Schweiz (ENSI), Großbritannien (Magnox Electric) und USA (NRC).

Optimierungsvorschläge der Task Group DIDELESYS

Die Ergebnisse der Task Group DIDELESYS sind in einem Bericht zusammengefasst, der mittlerweile vom CSNI zur Veröffentlichung angenommen wurde. Im Folgenden werden die darin angeführten wesentlichen Optimierungsvorschläge dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei den Optimierungsvorschlägen um generische Ergebnisse einer internationalen Arbeitsgruppe handelt. Bei der Umsetzung müssen selbstverständlich länder- und anlagenspezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Die Optimierungsvorschläge der Task Group DIDELESYS lassen sich in drei Themengebiete untergliedern:

1. Schnittstelle Kraftwerks-/Netzbetreiber. Die Optimierungsvorschläge zur Schnittstelle Kraftwerks-/Netzbetreiber basieren auf dem Bericht

SOER 99-1 der World Association of Nuclear Operators (WANO) und dessen Addendum aus dem Jahr 2004. Danach sollen zwischen Kraftwerks- und Netzbetreiber bindende Vereinbarungen zur Kommunikation und Koordination geplanter Aktivitäten getroffen werden. Außerdem sollen für das Kraftwerk relevante Prüfungs- und Instandhaltungstätigkeiten gemeinsam geplant und koordiniert werden. Bei Problemen soll ein frühzeitiger Informationsaustausch zwischen Kraftwerks- und Netzbetreiber stattfinden. Ausgehend von der besonderen sicherheitstechnischen Bedeutung der elektrischen Energieversorgung bei Kernkraftwerken für die langfristige Nachwärmeabfuhr sollen die Prozeduren des Netzbetreibers der Netzanbindung von Kernkraftwerken Priorität einräumen, d. h. Netzabschaltungen sollen vermieden werden. Beim Wiederaufbau des elektrischen Netzes nach Netzabschaltungen sollen Kernkraftwerke höchste Priorität erhalten.

2. Robustheit der elektrischen Systeme im Kernkraftwerk. Zur Gewährleistung der Robustheit der elektrischen Systeme im Kernkraftwerk wurde empfohlen, mögliche Transienten zwischen Nenn- und Blitzspannung zu identifizieren. Dabei sollen auch ungünstige Ausfallkombinationen, wie z. B. der Lastabwurf auf Eigenbedarf und ein gleichzeitiger Fehler in der Generatorerregung, berücksichtigt werden. Nach Ansicht der Task Group soll sich die Untersuchung auf den Spannungsbereich zwischen Nenn- und Blitzspannung konzentrieren. Für diesen Spannungsbereich wurde von der Task Group zum einen ein Regelwerksdefizit erkannt, da die einschlägigen Standards für diesen Spannungsbereich keine Anforderungen enthalten. Zum anderen sind aus der Betriebserfahrung mehrere Ereignisse in diesem Spannungsbereich bekannt. Anhand der identifizierten Transienten sollen die eingesetzten elektrischen Betriebsmittel auf ihre Robustheit untersucht werden. Dabei sollen insbesondere Betriebsmittel mit Halbleitertechnik beachtet werden, die im Zuge von Mo-

dernisierungen eingebaut wurden. Dies können beispielsweise Systeme zur unterbrechungsfreien Stromversorgung, Gleichrichter und Ladegeräte sowie die Spannungsversorgung von Leittechnik-schränken sein, die auf Halbleitertechnik basieren.

3. Beherrschung von Fehlern in der elektrischen Energieversorgung. Diesbezüglich wurde empfohlen, die bestehenden Prozeduren und technischen Maßnahmen zu überprüfen. Außerdem sollen die Auswirkungen von unterstellten Ausfällen gesicherter Notstromschienen untersucht werden. So soll etwa analysiert werden, ob die Anzeigen auf der Warte dem Schichtpersonal noch ausreichende Informationen liefern und ob es im Reaktorschutz zu Fehlauflösungen kommt. Daneben soll untersucht werden, inwieweit für die Kernkühlung eine diversitäre Energiequelle eingesetzt werden kann. Dies könnte z. B. eine dieselgetriebene Pumpe oder eine schnell startende Gasturbine sein.

Zusammenfassung

Neubewertung des Defence-in-Depth-Konzepts für elektrische Energieversorgung. Das Forsmark-Ereignis hat eine länderübergreifende Neubewertung des Defence-in-Depth-Konzepts in der elektrischen Energieversorgung von Kernkraftwerken angestoßen. Dies führt gegenwärtig zu einer Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik, wobei insbesondere transiente Vorgänge zwischen Nenn- und Blitzspannung im Fokus liegen. Neue Herausforderungen sind u. a. die Robustheit von elektrischen Betriebsmitteln mit Halbleitertechnik und die Verifizierung von Nachweismethoden. Diese Entwicklung ist ein weiteres Beispiel dafür, wie Erkenntnisse aus der Auswertung der Betriebserfahrung zur weiteren Verbesserung der Anlagensicherheit genutzt werden. ■