

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 87 (1996)

Heft: 11

Artikel: Isolationskoordination in Kraftwerken mit Generatorschaltern

Autor: Braun, Dieter / Köppl, Georg

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

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

Der Einsatz von Generatorschaltern in Kraftwerken ist heute weit verbreitet. Gegenüber der Blockschaltung bieten sie wichtige Vorteile wie geringere Investitionskosten, vereinfachte Betriebsabläufe, einen verbesserten Schutz und damit eine erhöhte Verfügbarkeit der Anlagen. Auf der anderen Seite stellt sich die Frage, welche Überspannungen das Einbringen eines Schaltgerätes zwischen Generator und Blocktransformator verursacht und welche Massnahmen zum Überspannungsschutz allenfalls zu ergreifen sind. In der vorliegenden Arbeit werden die Resultate von umfassenden Berechnungen der Überspannungen, wie sie in einem Kraftwerk mit Generatorschalter auftreten können, vorgestellt und mit ebenfalls durchgeführten Messungen verglichen.

Isolationskoordination in Kraftwerken mit Generatorschaltern

■ Dieter Braun und Georg Köppl

Der Einsatz von Generatorschaltern in Kraftwerken ist heute weit verbreitet, da diese im Vergleich zur Blockschaltung dem Betreiber wesentliche Vorteile wie geringere Investitionskosten, vereinfachte Betriebsabläufe und erhöhte Verfügbarkeit bieten [1]. Einer der Hauptgründe für den Einsatz von Generatorschaltern ist der verbesserte Schutz von Kraftwerkskomponenten wie Generator und Blocktransformator vor den Auswirkungen von Fehlerströmen, wie sie im Falle von Kurzschlüssen und Asynchronbedingungen auftreten. Durch die rasche und selektive Ausschaltung von Fehlern mit dem Generatorschalter können kostspielige Folgeschäden und die damit verbundenen langen Reparaturzeiten vermieden werden. Beispiele für solche Folgeschäden sind das Bersten des Transformatorkessels nach einem inneren Fehler im Block- oder Eigenbedarfstransformator oder eine thermische Zerstörung der Dämpferwicklung des Generators infolge von Kurzzeit-Schiefelastzuständen im Netz. Derartige Schäden können durch eine Schnellentregung des Generators in der Regel nicht verhindert werden.

Auf der anderen Seite beeinflusst das Einbringen eines Schaltgerätes zwischen

Generator und Blocktransformator die Art und Höhe der im Kraftwerk auftretenden Überspannungen. Es stellt sich somit die Frage, welche Überspannungen – bedingt durch den Einsatz von Generatorschaltern in Kraftwerken – auftreten und welche Massnahmen zum Schutz der Kraftwerkskomponenten vor diesen Überspannungen allenfalls zu ergreifen sind. Die elektrischen Beanspruchungen, welche Generatorschalter im Betrieb erfahren, übersteigen die Beanspruchungen von gewöhnlichen Mittelspannungs-Leistungsschaltern beispielsweise in Unterwerken oder Transformatorstationen bei weitem. Dies trifft insbesondere auch auf die Steilheit der Einschwingspannung zu, welche nach dem Ausschalten von Kurzschlussströmen oder Fehlerströmen unter Asynchronbedingungen über den Schalterkontakten auftritt [1, 2]. Zur Reduktion der Steilheit der Einschwingspannung werden bei SF₆-Generatorschaltern normalerweise Kondensatoren eingesetzt. Diese Kondensatoren haben gleichzeitig die Funktion von Überspannungsschutz-Kondensatoren und stellen somit auch eine wichtige Komponente für den Überspannungsschutz der an die Generatorableitung angeschlossenen Betriebsmittel dar.

Die einschlägigen IEC-Normen [3, 4] enthalten ausführliche Richtlinien zur Frage der Koordination der Isolation in Hochspannungsnetzen. Ein Teil dieser Empfehlungen ist auch für Kraftwerke mit

Adressen der Autoren

Dieter Braun, dipl. Ing. ETH, ABB Hochspannungstechnik AG, 8050 Zürich, und
Georg Köppl, Dipl. Ing. TU München
Koepl Power Experts, 5242 Lufpig

Generatorschaltern relevant. Weiter liegen verschiedene Veröffentlichungen vor, die sich mit Aspekten des Überspannungsschutzes in Kraftwerken befassen (z. B. [5–7]). In der vorliegenden Arbeit werden die Resultate von umfassenden Berechnungen der Überspannungen, wie sie in Kraftwerken mit Generatorschalter auftreten können, vorgestellt und diskutiert. Dabei wird unterschieden zwischen

- betriebsfrequenten Überspannungen
- Schaltüberspannungen
- durch den Blocktransformator übertragenen Blitzüberspannungen

Diese Berechnungen wurden teilweise durch Messungen in Kraftwerken ergänzt, über deren Resultate ebenfalls berichtet wird.

In Kraftwerken sind normalerweise an den hochspannungsseitigen Klemmen des Blocktransformators oder zumindest in deren Nähe Überspannungsableiter angebracht, welche die Amplituden der in den Blocktransformator einlaufenden transienten Überspannungen begrenzen. Trotzdem ist nicht in jedem Fall ein ausreichender Überspannungsschutz auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators gewährleistet, so dass zusätzliche Massnahmen zum Schutz der an die Generatorableitung angeschlossenen Betriebsmittel vor Überspannungen ergriffen werden müssen. Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen können Empfehlungen zur Auslegung des Überspannungsschutzes in Kraftwerken abgeleitet werden.

Isolationspegel von Betriebsmitteln in Kraftwerken

Die Nennspannungen der Generatorableitung und der an sie angeschlossenen Betriebsmittel wie Blocktransformator (unterspannungsseitige Wicklung), Eigenbedarfstransformator, Generatorschalter, Strom- und Spannungswandler usw. sind auf die Nennspannung des Generators abgestimmt. Die Nennspannungen der Generatoren liegen in der Regel zwischen 10,5 kV und 27 kV. Die Isolationspegel dieser Betriebsmittel werden durch eine Steh-Blitzstossspannung und eine Steh-Wechselspannung definiert, deren Werte in [3] festgelegt sind. Für Generatoren ist keine Prüfung mit Blitzstossspannung vorgesehen. Diese Prüfung wird ersetzt durch entsprechende Prüfungen an Teilen der Wicklungen. Generatoren werden jedoch einer Wechselspannungsprüfung unterzogen, wobei die Prüfspannung $U_{\text{prüf}}$ nach der Beziehung

$$U_{\text{prüf}} = 2 \cdot U_G + 1 \text{ kV}$$

Tabelle I Isolationspegel von Betriebsmitteln in Kraftwerken

A Blocktransformator (US-Seite), Eigenbedarfstransformator, Generatorableitung, Generatorschalter, Strom- und Spannungswandler usw.

B Generator

Nennspannung [kV]	Generatorspannung [kV]	A		B
		Steh-Blitzstosspg. [3] [kV _{sw}]	Steh-Wechselspanng. [3] [kV]	Steh-Wechselspanng. [kV]
12		60 75 95	28	
17,5	10,5 11,5	75 95	38	22 24
24	13,8 15,5	95 125 145	50	28,6 32
36	18 21 23 27	145 170	70	37 43 47 55

bestimmt wird (U_G : Nennspannung des Generators). Tabelle I gibt einen Überblick über die Isolationspegel von Betriebsmitteln in Kraftwerken.

Überspannungen werden auf die Betriebsspannung bezogen und üblicherweise in p.u. (per unit) ausgedrückt, wobei 1 p.u. dem Scheitelwert der Phasenspannung entspricht. Ein Vergleich der ermittelten Überspannungen mit dem Isolationspegel der an die Generatorableitung angeschlossenen Betriebsmittel ermöglicht eine Aussage, ob in einem Kraftwerk allenfalls Überspannungsschutz-Massnahmen zu ergreifen sind. Die Spannungsfestigkeit der Betriebsmittel gegen Schaltstossspannungen kann dabei als $\geq 70\%$ der Steh-Blitzstossspannung angenommen werden.

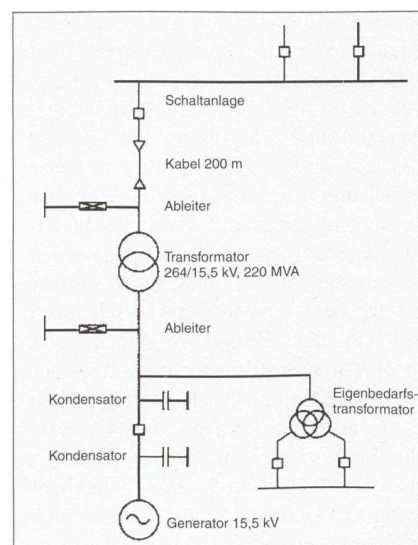


Bild 1 Einpoliges Schema des modellierten Systems

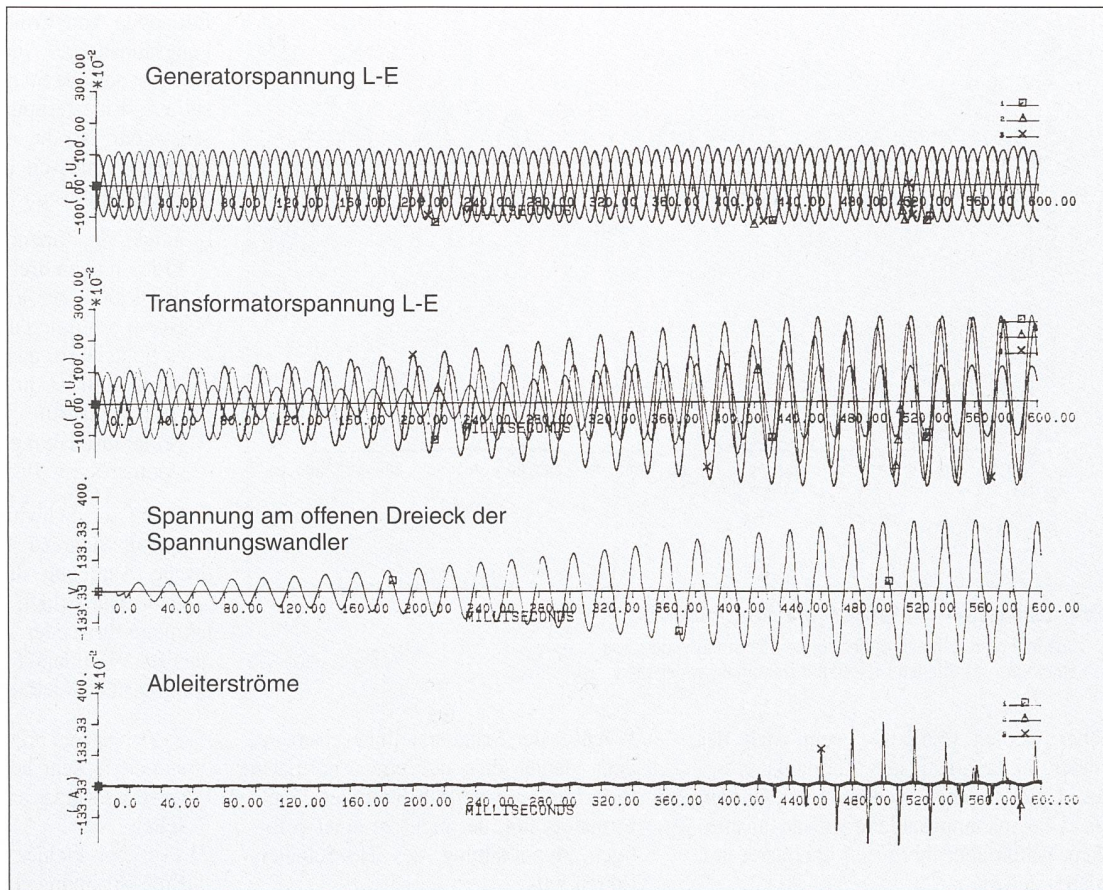
Daten des untersuchten Systems

Bild 1 zeigt das Schema des untersuchten Systems. Für die Simulationen wurde das Rechenprogramm EMTP [8] verwendet. Das System besteht aus einer typischen Kraftwerksanordnung mit einem Generator 15,5 kV, 228 MVA, 50 Hz, einem Generatorschalter mit Kondensatoren von 250/125 nF gegen Erde, einem 220-MVA-Zweiwicklungstransformator 264/15,5 kV YNd5 mit Überspannungsableitern auf der Oberspannungsseite (OS-Seite) und fakultativ auf der Unterspannungsseite (US-Seite). Die Spannungswandler Phase–Erde auf der US-Seite wurden ebenfalls modelliert. Das Hochspannungsnetz 245 kV liefert einen Kurzschlussstrom von 26 kA dreiphasig oder 21 kA einphasig. Für die Untersuchung der Schalteröffnung in nur zwei Phasen wurde ein detailliertes Generatormodell verwendet; für alle anderen Fälle ist ein einfaches Spannungsquellenmodell mit RLC-Nachbildung ausreichend.

Da die Überspannungen einen breiten Frequenzbereich umfassen können, wurden auch entsprechende Transformatormodelle gewählt [9]. Alle Modelle sind dreiphasig aufgebaut und berücksichtigen die richtige Schaltgruppe (YNd5), das Übersetzungsverhältnis sowie Kurzschlussimpedanz und -widerstand. Da vorwiegend Transformatoren mit drei Kernen als Generatortransformatoren verwendet werden, wurde die Reaktanz des Nullsystems der Anordnung Eisenkern–Luftspalt–Kessel ebenfalls nachgebildet (von der OS-Seite aus gesehen und der Dreieckschaltung parallel geschaltet). Die Magnetisierungskennlinie wurde ebenfalls für alle statio-

Bild 2 Simulation eines Lastabwurfs bei nicht-öffnendem Schalterpol

Angenommen wurde ein Lastabwurf bei 100% Last und nichtöffnendem Schalterpol in Phase A.



nären sowie für die Schaltüberspannungen auf der Basis der Herstellerangaben modelliert.

Betriebsfrequente Spannungsänderungen

Längerdauernde Spannungsänderungen auf der US-Seite des Transformators können auftreten aufgrund von Schalthandlungen, durch einen Überschlag auf der OS-Seite oder durch nichtlineare Schwingungen wie Ferroresonanz. Betriebsfrequente Spannungsänderungen über den offenen Generatorschalter müssen durch die entsprechenden Prüfspannungen gedeckt sein.

(Quasi-)Stationäre einphasige Erdfehler

Wegen der üblicherweise schwachen Sternpunktterdung auf der Generatorseite können die gesunden Phasen den $\sqrt{3}$ -fachen Wert der Phasenspannung annehmen. In Kombination mit Lastabwurf kann dieser Wert auf $(1,1-1,4) \sqrt{3}$ p.u. steigen [10].

Überspannungen als Folge eines mechanischen Defekts im Schalterantrieb

Während des Ein- oder Ausschlutens besteht die (extrem seltene) Möglichkeit, dass ein Schalterpol versagt, das heisst ein

Pol nicht schliesst oder nicht öffnet. Dies ist bei einem dreiphasigen Antrieb zwar sehr unwahrscheinlich, aber nicht völlig auszuschliessen; ein solches Ereignis würde durch den Hilfsschalter nicht signalisiert werden.

Bild 2 zeigt die Simulation eines Lastabwurfs bei 100% Last (bereits ein Fall geringer Wahrscheinlichkeit) kombiniert mit einem nichtöffnenden Schalterpol in Phase A. Wenn der Generator nach ungefähr 0,5 s Phasenopposition erreicht hat, beträgt die maximale Spannung Phase-

Erde an den Transformatorklemmen 2,9 p.u. ($1,2 + \sqrt{3}$, siehe auch Vektordiagramm Bild 3) und die Spannung über den offenen Schalterkontakten steigt auf $\sqrt{3} \cdot (1,2 + 1,0)$ p.u. $\approx 3,8$ p.u. an. Dies sind die theoretischen Extremwerte, die in der Praxis durch den Spannungsregler des Generators reduziert werden und erst nach längerer Zeit erreicht werden, wenn der Schalter bei Schwachlast- oder Leerlaufbedingungen geöffnet wird.

Überspannungsableiter am Generator oder am Transformator sprechen bei diesen Spannungen noch nicht an und sind deshalb ohne Wirkung, werden andererseits auch nicht beansprucht. Die Sicherheitsmarge bezüglich Spannung gegen Erde ist noch genügend, da selbst für eine höchste Betriebsspannung von 27 kV die 50-Hz-Haltespannung mindestens 3,5 p.u. ist.

Eine kritische Situation entsteht, wenn ein zusätzlicher Fehler eintritt, das heisst wenn es zu einem Erdfehler in einer der beiden Phasen kommt, in denen der Schalter geöffnet hat. Wenn der Erdfehler auf der Generatorseite geschieht, steigt die Spannung gegen Erde auf der Transformatorseite auf 3,7 p.u. Umgekehrt erreicht die Spannung am Generator einen ähnlichen Wert bei einem Erdschluss am Transformator. Die dabei entstehenden transienten Überspannungen können noch beträchtlich

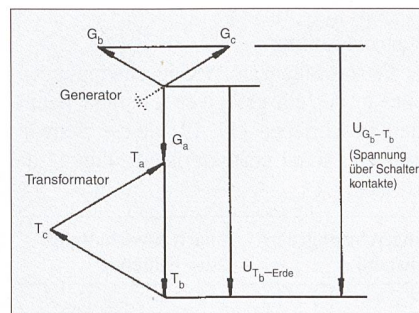


Bild 3 Überspannungen bei fehlerhaftem Lastabwurf

Gezeigt wird das Vektordiagramm für den in Bild 2 beschriebenen Fall eines nichtöffnenden Schalterpols in Phasenoppositionsnähe.

G Generator
T Transformator

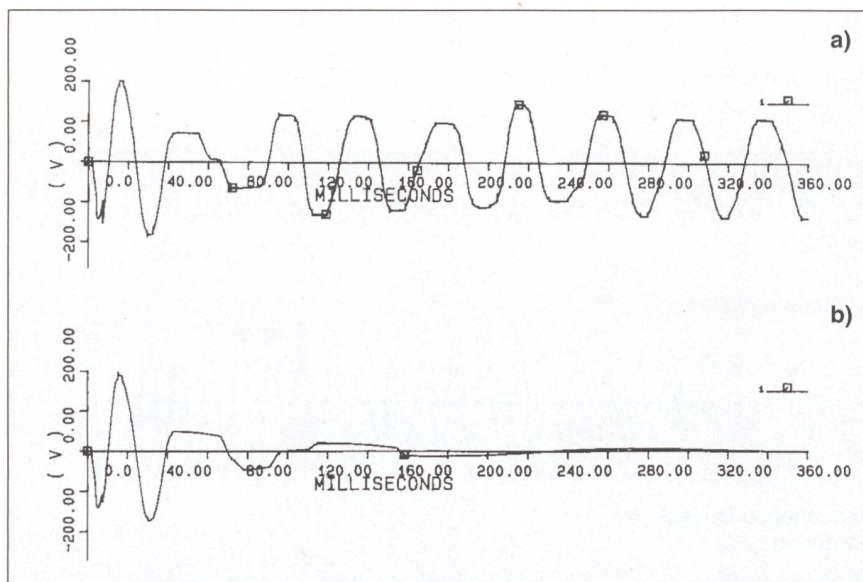


Bild 4 Ferroresonanz mit Spannungswandler (Simulation)

- a Spannung am offenen Dreieck ohne Dämpfungswiderstand
b Spannung am offenen Dreieck mit Dämpfungswiderstand

höher werden (5,6 p.u.), wenn sich der Fehler im ungünstigsten Zeitpunkt ereignet. Unter solchen Bedingungen würden die Überspannungsableiter zwar ansprechen, wären aber thermisch überlastet und gingen defekt.

Ein derartiger Fall bedeutet ein gewisses Schadensrisiko und sollte deshalb vermieden werden. Das einfachste und wirksamste Mittel ist, im Fall eines nicht-öffnenden oder nichtschliessenden Pols des Generatorschalters den OS-seitigen Schalter zu öffnen. Es gibt zwei notwendige und hinreichende Kriterien, um einen nicht-öffnenden oder nichtschliessenden Schalterpol zu erkennen (ohne oder mit zusätzlichem Erdschluss):

- Es tritt zwangsläufig ein Spannungsanstieg an der offenen Dreieckswicklung der Spannungswandler auf der Transformatorseite des Generatorschalters auf (siehe Bild 2).
- Dieser Spannungsanstieg entwickelt sich innerhalb einer gewissen Zeit nach einem Wechsel der Schalterstellung, zum Beispiel von 0 bis 20 s nach Öffnen oder Schliessen des Generatorschalters. Wenn er später als 20 s nach einem

Wechsel der Schalterstellung erscheint, dann deutet dies auf einen normalen Erdschluss auf der US-Seite des Transformators hin, der nicht zu einer sofortigen Ausschaltung des HS-Schalters führen muss.

Eine Schutzeinrichtung für die Erkennung eines nichtöffnenden oder nichtschliessenden Schalterpols könnte aus einem Spannungsrelais im offenen Dreieck der transformatorseitigen Spannungswandler und einem dazu in Serie geschalteten Zeitrelais bestehen, das durch einen Wechsel der Schalterstellung angeregt wird und nach 20 s zurückstellt. Ein derartiger Schutz kann mit vorhandenem Material kostengünstig realisiert werden.

Die Prüfspannungen des Generatorschalters liegen in allen Fällen deutlich über den Überspannungen, die von einem nichtöffnenden oder nichtschliessenden Schalterpol verursacht werden.

Ferroresonanz

Ferroresonanzen (Kippschwingungen) sind in der einschlägigen Literatur detailliert beschrieben [11, 12]. Diese Schwingungen sind charakterisiert durch die

Entladung von Erdkapazitäten über sättigungsabhängige Induktivitäten, woraus eine periodische Sternpunktverlagerung resultiert. Ein sternpunktisoliertes Dreiphasensystem ist die Voraussetzung dafür; ausserdem müssen noch folgende Bedingungen erfüllt sein:

- induktive Spannungswandler gegen Erde, in allen drei Phasen
- die Grösse der Erdkapazitäten muss in einem bestimmten Bereich liegen
- es braucht ein auslösendes Ereignis; im Normalfall ist dies eine Schalthandlung (Einschaltstrom des Transformators, Fehlerabschaltung mit momentaner Unsymmetrie im System)

Damit die Schwingung des Sternpunkt-potentials stationär bleibt, ist eine periodische Anregung durch das Dreiphasensystem erforderlich; folglich führt das zu harmonischen oder subharmonischen Frequenzen. Von praktischer Bedeutung sind die folgenden Vielfachen der Netzfrequenz:

- $3 \cdot f$: bei sehr kleiner Erdkapazität; resultiert in sehr hohen Spannungen Leiter-Erde (3,5 p.u.); leicht zu dämpfen; selten
- $2 \cdot f$: bei kleiner Erdkapazität; Leiter-Erde-Spannungen 2–3 p.u.; manchmal mit Schwebungen; selten
- $1 \cdot f$: Überspannungen erscheinen nur in zwei Phasen (1,3–3,5 p.u.); wird deshalb oft mit einem Erdschluss verwechselt; relativ häufig
- $0,5 \cdot f$ (zweite Subharmonische): 1 bis 1,7 p.u.; mit Schwebungen; in allen Phasen; am häufigsten
- $0,33 \cdot f$, $0,25 \cdot f$ (dritte, vierte Subharmonische): sehr selten, nicht stabil

Bei den am häufigsten zu findenden zweiten Subharmonischen sind die Überspannungen zwar bescheiden und ungefährlich; das Problem besteht darin, dass die Sättigungsströme die Spannungswandler überhitzen und zerstören können mit entsprechenden Folgeschäden. Aufgrund der obengenannten Bedingungen können Kippschwingungen nur entstehen, wenn der Generatorschalter offen ist (Generatorsternpunkt normalerweise über Widerstand geerdet).

	bei Eintritt des Fehlers		eingeschwungener Zustand		nach Ausschaltung des Fehlers	
Überspannungsschutz-Kondensator [nF]	–	125,0	–	125,0	–	125,0
U_{A-E} [p.u.]	1,4	1,0	1,3	0,7	1,4	1,2
U_{B-E} [p.u.]	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0
U_{C-E} [p.u.]	1,0	1,0	0,9	0,6	1,8	1,2

Tabelle II Überspannungen am Blocktransformator infolge eines einphasigen Kurzschlusses

Berechnete Überspannungen gegen Erde in p.u. an den unterspannungsseitigen Klemmen des Blocktransformators infolge eines einphasigen Kurzschlusses im Hochspannungsnetz in Phase A.

	Generator-schalter geschlossen	Generator-schalter offen
U_{B-E} [p.u.]	2,2	2,0
U_{C-E} [p.u.]	2,2	2,0

Tabelle III Transiente Überspannungen am Transformator

Berechnete transiente Überspannungen gegen Erde in p.u. an der Dreieckswicklung des Transformators bei Eintritt eines einphasigen Fehlers in Phase A.

Bild 4a zeigt die Simulation von in der Praxis aufgetretenen Kippschwingungen bei einer Transformatoreinschaltung von der OS-Seite aus. An der offenen Dreieckswicklung der Spannungswandler erscheint eine Spannung der zweiten Subharmonischen. Mit einem ausreichend bemessenen Dämpfungswiderstand in der Dreieckswicklung verschwindet die Schwingung rasch (Bild 4b). Folgende Faktoren sind wichtig, um Kippschwingungen zu vermeiden:

- Wahl von Spannungswandlern mit einem hohen Spannungsfaktor ($\geq 1,9$)
- ausreichende Leistung der Spannungswandler und der Dreieckswicklung
- Dämpfungswiderstand an die Leistung der Dreieckswicklung angepasst
- falls dies nicht genügt, begrenzte Einschaltdauer eines Widerstands mit höherer Leistung als der Leistung der Dreieckswicklung entspricht; oder spezielle Spannungswandlerkonstruktion

Durchschlag zwischen OS- und US-seitiger Transformatorwicklung

Ein Durchschlag im Transformator mit einer (teilweisen) Übertragung der OS-seitigen auf die US-seitige Spannung muss als Ereignis mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit betrachtet werden. Überspannungsableiter auf der US-Seite werden in einem solchen Fall ziemlich sicher überlastet und zerstört, schützen aber zusammen mit einer schnellen Auslösung des OS-seitigen Schalters und des Generatorschalters den Generator und begrenzen damit den Schaden.

Schaltüberspannungen

Überspannungen infolge von einphasigen Kurzschlüssen im Hochspannungsnetz

Einphasige Kurzschlüsse im Hochspannungsnetz führen zu einer Spannungsverlagerung auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators. Da die grössten Auswirkungen dann auftreten, wenn der Generatorschalter geöffnet ist (nur die geringe Kapazität der Dreieckswicklung nach Erde ist wirksam), wurde ausschliesslich dieser Fall untersucht. Der Fehlereintritt erfolgte im Maximum der Phasenspannung. Variiert wurde die Grösse der Kapazität nach Erde auf der Unterspannungsseite, das heisst, es wurde insbesondere der Einfluss des Vorhandenseins eines Überspannungsschutz-Kondensators zwischen Blocktransformator und Generatorschalter auf die Höhe der Überspannungen ermittelt. Die Resultate der Berechnungen sind in Tabelle II zusammengefasst.

Die durchgeführten Berechnungen lassen den Schluss zu, dass einphasige Kurz-

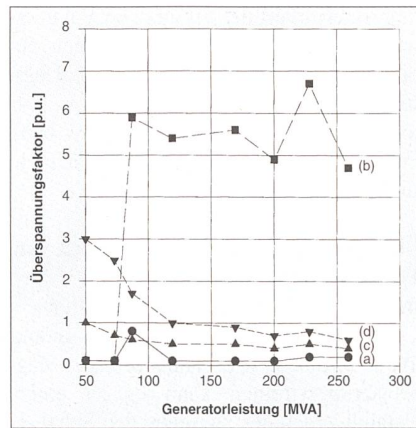


Bild 5 Überspannungen infolge von Laststromauschaltungen beim Einsatz von Vakuumschaltern als Generatorschalter

- a 20% Leistung, ohne Überspannungsschutz-Kondensator
- b 20% Leistung, mit Überspannungsschutz-Kondensator (125 nF)
- c 100% Leistung, ohne Überspannungsschutz-Kondensator
- d 100% Leistung, mit Überspannungsschutz-Kondensator (125 nF)

schlüsse im Hochspannungsnetz nur zu geringen Spannungsverlagerungen auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators führen und dass bereits Überspannungsschutz-Kondensatoren von 125 nF sowohl die transienten als auch die betriebsfrequenten Überspannungen auf vernachlässigbar kleine Werte reduzieren. Erwartungsgemäss bringt denn auch eine Vergrösserung der Überspannungsschutz-Kondensatoren von 125 nF auf 250 nF keine weitere Verbesserung.

Überspannungen infolge von Erdschlüssen auf der US-Seite des Blocktransformators

Wegen des hohen Wertes der Nullimpedanz ist der im Falle eines Erdschlusses auf

der Unterspannungsseite des Blocktransformators fliessende Fehlerstrom sehr gering, unabhängig davon, ob der Generatorschalter geschlossen oder geöffnet ist. Im Falle, dass der Generatorschalter geschlossen ist, fliesst ein ohmscher Fehlerstrom, da der Generatorsternpunkt normalerweise über einen Widerstand geerdet wird. Dagegen ist der Fehlerstrom kapazitiv, wenn der Generatorschalter geöffnet ist und der Fehlerort sich zwischen Generatorschalter und Blocktransformator befindet. Die Eigenfrequenz der Spannungsschwingungen in den fehlerfreien Phasen ist ziemlich hoch. Sie wird bestimmt durch die subtransiente Reaktanz des Generators, die Streureaktanz des Blocktransformators und die entsprechenden Erdkapazitäten. Im vorliegenden Fall ergab sich eine Eigenfrequenz von 8,4 kHz bei geschlossenem Generatorschalter und eine Eigenfrequenz von 9,4 kHz bei geöffnetem Generatorschalter (Fehlerort zwischen Generatorschalter und Blocktransformator), selbst wenn auf beiden Seiten des Generatorschalters Kondensatoren vorhanden sind. Die auftretenden Überspannungen sind von geringer Höhe und werden schnell gedämpft (siehe Tabelle III).

Überspannungen infolge von Kurzschlussstrom-Ausschaltungen mit dem Generatorschalter

Unmittelbar nach der Unterbrechung eines Kurzschlussstromes durch den Generatorschalter tritt über den Kontakten des Schaltgerätes die sogenannte Einschwingspannung auf. Die Eigenfrequenz dieser Spannungsschwingung ist sehr hoch. Sie beträgt im Falle eines systemgespeisten Kurzschlusses (Fehlerort zwischen Schalter und Generator) 50–80 kHz und im Falle eines generatorgespeisten Kurzschlusses (Fehlerort zwischen Schalter und Blocktransformator) 5–25 kHz. Der Amplituden-

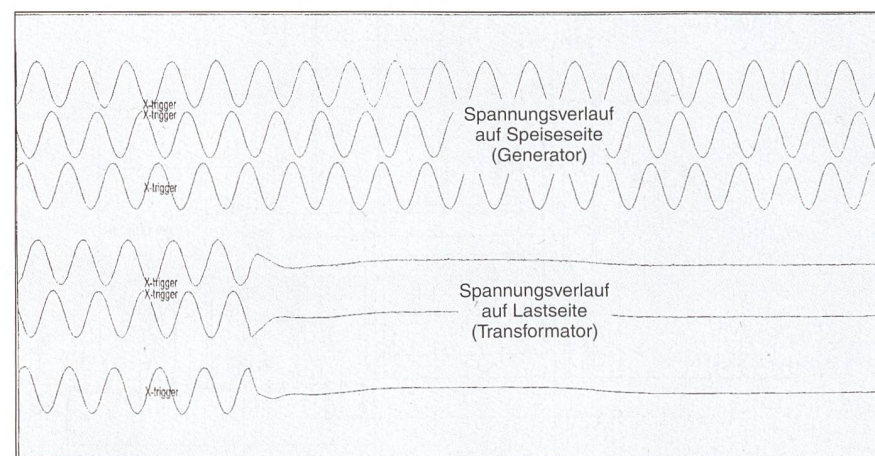


Bild 6 Überspannungen beim Ausschalten von Transformator-Magnetisierungsströmen

Das Bild zeigt die Spannungsverläufe beim Ausschalten des Magnetisierungsstromes eines 240-MVA-242/13,8-kV-Blocktransformators mit einem Generatorschalter Typ HEK 4.

faktor der Einschwingspannung kann mit 1,5 angenommen werden [13]. Zusammen mit dem Polfaktor von ebenfalls 1,5 ergibt sich somit ein Scheitelwert der Einschwingspannung von 2,25 p.u. Diese Spannung tritt je nach Fehlerort auch an den unterspannungsseitigen Klemmen des Blocktransformators oder an den Klemmen des Generators auf. Ihre Höhe ist unabhängig von der Art des eingesetzten Schaltgerätes. Zu beachten ist, dass etwas höhere Amplitudenfaktoren auftreten können, wenn die Eigenfrequenz der Einschwingspannung durch Kondensatoren herabgesetzt wird.

Überspannungen infolge von Laststromausschaltungen mit dem Generatorschalter

Die Einschwingspannung, welche im Falle einer Laststromausschaltung über den Schalterkontakten auftritt, entspricht – unabhängig vom tatsächlichen Leistungsfaktor – der Einschwingspannung in einem induktiven Stromkreis [14, 15]. Es ist bekannt, dass beim Ausschalten von Motoren im Anlauf oder von Kompensationsdrosselpulen mit Vakuumschaltern multiple Wiederzündungen und damit verbunden hohe Überspannungen auftreten können [16]. Abhängig von den Systemparametern und den Eigenschaften des Schaltgerätes können auch beim Ausschalten von Lastströmen mit einem Vakuumgeneratorschalter solche multiple Wiederzündungen auftreten [17]. Bild 5 zeigt als Beispiel die berechneten maximalen Überspannungen in Funktion der Grösse des ausgeschalteten Laststromes für Generatoren verschiedener Leistung. Wenn auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von multiplen Wiederzündungen und den damit zusammenhängenden Überspannungen ge-

ring ist, erfordert der Einsatz von Vakuumschaltern als Generatorschalter einen zusätzlichen, sorgfältig ausgelegten Überspannungsschutz für den Generator. Entsprechende Erscheinungen treten beim Einsatz von SF₆-Generatorschaltern nicht auf.

Überspannungen beim Ausschalten von Transformator-Magnetisierungsströmen mit dem Generatorschalter

Beim Ausschalten von kleinen induktiven Strömen wie Transformator-Magnetisierungsströmen kann es zu einem Instabilwerden des zwischen den Schalterkontakten brennenden Lichtbogens und damit verbunden zu einem Abreißen des Stromes ausserhalb eines natürlichen Stromnulldurchganges kommen. Die im Moment des Stromabrisses in der Magnetisierungsinduktivität gespeicherte Energie entlädt sich in der Folge über die vorhandenen Erdkapazitäten und führt dort zu einem entsprechenden Spannungsanstieg. Der Scheitelwert dieser Überspannung ist proportional zum abgerissenen Strom. Die Höhe des sogenannten Abreisstromes wiederum hängt vom verwendeten Schaltgerät und den Netzparametern ab.

Ein unbelasteter Blocktransformator wird normalerweise durch den zugehörigen Hochspannungsschalter ein- und ausgeschaltet, so dass Ausschalten von Transformator-Magnetisierungsströmen mit einem Generatorschalter an sich ein ungewöhnlicher Schaltfall ist. Erfahrungsgemäss treten beim Ausschalten von Transformator-Magnetisierungsströmen mit SF₆-Schaltern keine nennenswerten Schaltüberspannungen auf [16, 18]. Diese Tatsache wird durch Vor-Ort-Messungen mit einem SF₆-Generatorschalter Typ HEK 4 von ABB bestätigt. Bei insgesamt 15 Aus-

schaltungen des Magnetisierungsstromes eines 240-MVA-Blocktransformators überstieg der Überspannungsfaktor in keinem Fall einen Wert von 1,0 p.u. (Bild 6).

Blitzüberspannungen und Spannungsübertragung

Am Transformator ankommende Überspannungen werden kapazitiv und induktiv jeweils auf die andere Seite übertragen. Kritisch können sehr steile und hohe Spannungen auf der OS-Seite sein, deren Anfangsverlauf vorwiegend kapazitiv auf die US-Seite übertragen wird. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist die Anordnung nach Bild 7. Der Generatortransformator ist vor der Generatorhalle aufgestellt, mit Ableitern geschützt und über ein Kabel (200 m) mit der Schaltanlage verbunden. Wegen der Nähe der Generatorhalle wurde auf Erdseile oder Blitzschutzstangen am Transformator verzichtet. Als maximale Blitzstromamplitude wurden 10 kA für diese Anordnung berechnet. Für die Spannungsübertragung wurde das Transformatorschema nach Bild 8 verwendet, das für einen ähnlichen Transformator zu sehr guter Übereinstimmung zwischen Stossspannungsmessungen und Simulationen führte [19]. Es wurde ein Direkteinschlag in eine Transformator клемme mit 10 kA angenommen und die Spannungsreaktion für den ungünstigsten Fall auf der US-Seite berechnet. Dieser ungünstigste Fall ist dadurch gegeben, dass der in der Generatorableitung liegende Generatorschalter offen ist. Die Simulationsresultate sind in Bild 9 gezeigt.

Der Direkteinschlag hat wegen des niedrigen Kabelwellenwiderstands einen stufenweisen Anstieg der Spannung an der

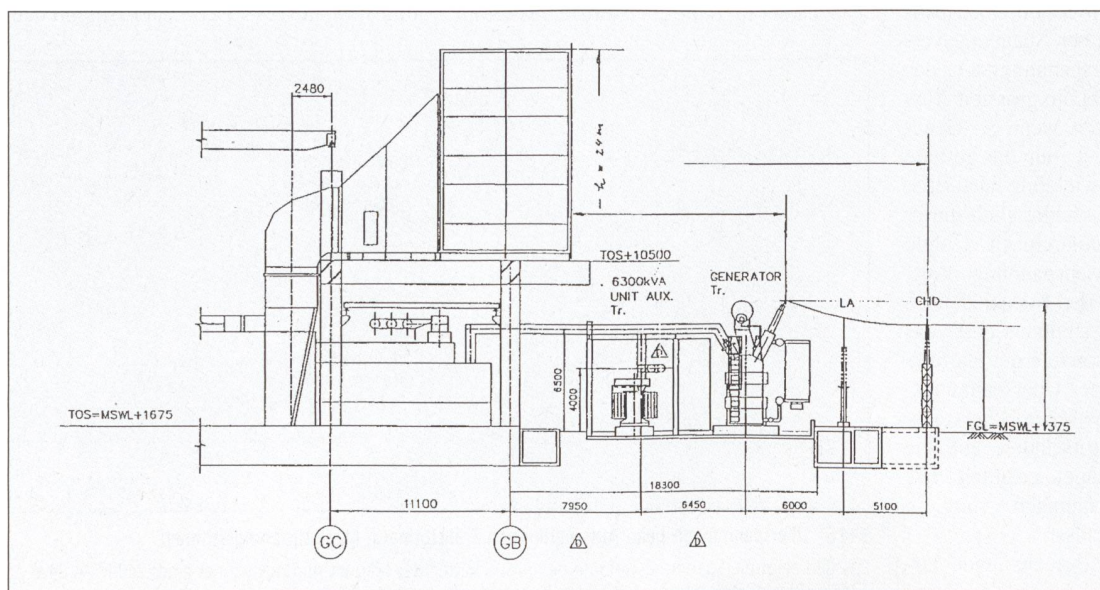


Bild 7 Beispiel für Transformatoranordnung

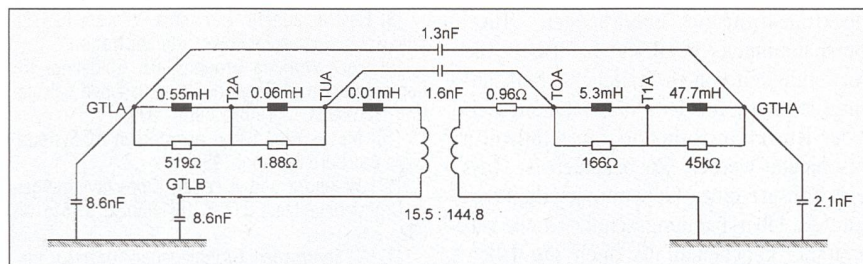


Bild 8 Rechenmodell für die Transformatoranordnung nach Bild 7 (einpolig)

Das Transformatormodell wurde benutzt zur Simulation der Übertragung von schnellen Spannungsänderungen.

OS-seitigen Trafoklemme zur Folge (Bild 9a); ab rund 700 kV verhindert der Ableiter einen weiteren Spannungsanstieg. Der stufenweise Spannungsverlauf auf der OS-Seite spiegelt sich auf der US-Seite (Bild 9b) in den hochfrequenten Schwingungen zu Beginn des Vorgangs, die der Generatorableitung (15 m) zwischen Transformator und Generatorschalter entsprechen (950 kHz). Danach überwiegt die induktive Spannungsübertragung, wobei die kleinere Frequenz von 16 kHz durch den an den Klemmen des Generatorschalters installierten Überspannungsschutz-Kondensator von 250 nF gegeben ist. Ohne diese Kapazität (Bild 9c) wäre diese Frequenz und auch die Spannungsamplitude wesentlich höher. Dieser Vergleich dokumentiert die vorteilhafte Wirkung eines Kondensators.

Überspannungsableiter auf der US-Seite – zusätzlich zu Kondensatoren – sind nicht unbedingt nötig. Wegen ihrer höheren maximal zulässigen Dauerbetriebsspannung (bezogen auf die Nennspannung) im Vergleich zu den OS-seitigen Ableitern ist ihre Schutzwirkung schwächer. Wenn Überspannungsableiter – zusätzlich zu Überspannungsschutz-Kondensatoren – eingebaut werden, ist der Aufstellungsort von untergeordneter Bedeutung. Wie Berechnungen ergeben haben, wird die Wirkung selbst bei einem Abstand von 20 m zwischen Transformator und Ableiter nicht wesentlich vermindert, dies offensichtlich wegen der relativ niedrigen Eigenfrequenz auf der US-Seite.

Schlussfolgerungen

Anhand einer für ein Kraftwerk mit Generatorschalter typischen Konfiguration wurden die auftretenden Überspannungen untersucht. Dabei wurden sowohl betriebsfrequente Überspannungen, Schaltüberspannungen wie auch durch den Blocktransformator übertragene Blitzüberspannungen betrachtet. Die Untersuchungen umfassten neben ausführlichen Computersimulationen auch Messungen in Kraftwer-

ken. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

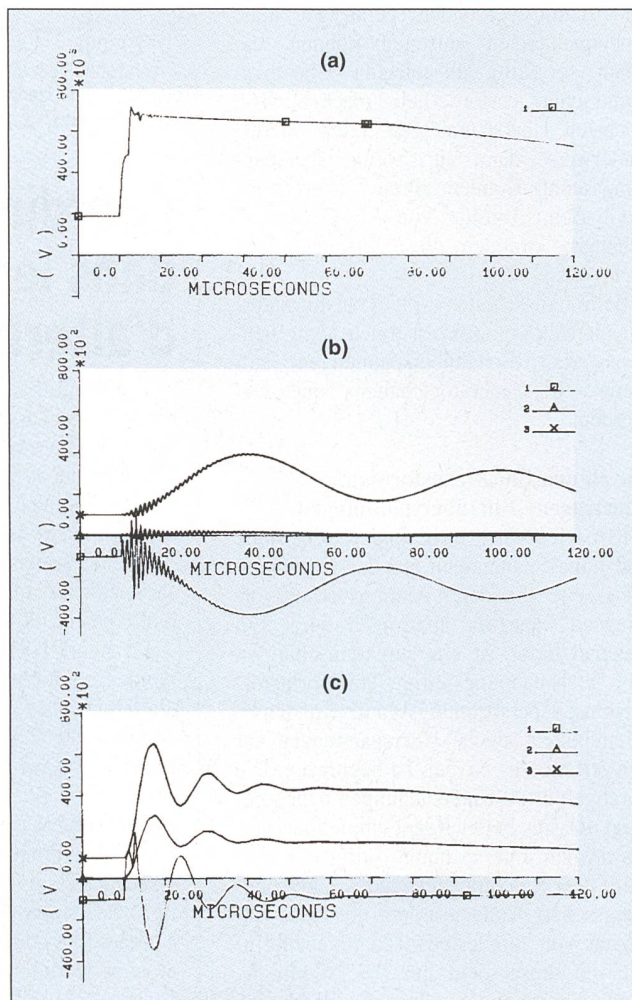
Betriebsfrequente Überspannungen

- Bei den Überspannungen infolge eines Erdschlusses auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators ergibt sich im eingeschwungenen Zustand kein Unterschied zwischen einer Anlage mit Generatorschalter und einer Anlage ohne Generatorschalter. Der Einsatz eines Generatorschalters bietet jedoch den Vorteil, dass ein erdschlussbehafteter Anlage teil selektiv ausgeschaltet werden kann.

- Durch Ferroresonanz bedingte Überspannungen können beispielsweise dann entstehen, wenn der Blocktransformator bei geöffnetem Generatorschalter von der Hochspannungsseite her zugeschaltet wird. Das Auftreten von solchen Überspannungen kann durch geeignete Massnahmen bei den Spannungswandlern, wie zum Beispiel das Einfügen eines Dämpfungswiderstandes von geeigneter Grösse in die Dreiecks-wicklung der Spannungswandler, auf einfache Art und Weise vermieden werden.
- Ein Durchschlag im Blocktransformator zwischen Oberspannungsseite und Unterspannungsseite, das heisst ein Spannungsdurchtritt von der Hochspannungsebene auf die Generatorspannungsebene, ist ein extrem unwahrscheinliches Ereignis. Das Vorhandensein eines Generatorschalters trägt in einem solchen Fall dazu bei, mögliche Folgeschäden zu vermeiden.
- Ein weiterer Fehlerfall mit einer sehr kleinen Eintretenswahrscheinlichkeit ist ein durch einen mechanischen Fehler im Generatorschalter bedingter nichtöffnender oder nichtschliessender Schalterpol. Dieser Zustand lässt sich jedoch leicht durch einfache Massnahmen im Bereich des Ge-

Bild 9 Simulationsergebnisse für Direkteinschlag in Transformator-klemme

- U_{Trafo} auf OS-Seite
- U_{Trafo} L-G auf US-Seite, berechnet für Fall mit Überspannungsschutz-Kondensator 250 nF an Generatorschalter
- U_{Trafo} L-G auf US-Seite, berechnet für Fall ohne Überspannungsschutz-Kondensator



neratorschutzes erkennen und durch das Ausschalten des entsprechenden Hochspannungsschalters beseitigen, bevor nennenswerte Überspannungen auftreten.

Schaltüberspannungen

- Einphasige Kurzschlüsse im Hochspannungsnetz können zu einer Spannungsverlagerung auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators führen. Die damit verbundenen Überspannungen sind jedoch gering.
- Die Amplituden der bei der Einleitung eines Erdschlusses auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators auftretenden Spannungsschwingungen erreichen keine kritischen Werte und werden rasch weggedämpft.
- Ebenfalls unkritisch sind die Amplituden der Einschwingspannungen, die im Zusammenhang mit dem Ausschalten von Kurzschlussströmen über den Kontakten des Generatorschalters auftreten und die als Überspannungen die an die Generatorableitung angeschlossenen Betriebsmittel beanspruchen.
- Werden Vakuumschalter als Generatorschalter eingesetzt, ist zu beachten, dass beim Ausschalten von Lastströmen unter Umständen multiple Wiederzündungen und damit verbunden gefährlich hohe Überspannungen auftreten können, die einen sorgfältig ausgelegten Überspannungsschutz erforderlich machen. Die höchsten Überspannungen treten interessanterweise dann auf, wenn Überspannungsschutz-Kondensatoren vorhanden sind. Beim Einsatz von SF₆-Generatorschaltern kommen diese Erscheinungen nicht vor.
- Beim Ausschalten von Transformator-Magnetisierungsströmen treten keine nennenswerten Schaltüberspannungen auf, wenn SF₆-Generatorschalter eingesetzt werden.

Durch den Blocktransformator übertragene Blitzüberspannungen

- Kritisch können insbesondere sehr steile und hohe Spannungen auf der Hochspannungsseite sein, deren Anfangsverlauf vorwiegend kapazitiv übertragen wird. Ein Beispiel dafür ist ein Direkteinschlag in eine hochspannungsseitige Transformator-klemme. Überspannungsschutz-Kondensatoren helfen, solche Überspannungen auf ein vertretbares Niveau zu begrenzen. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass es in der Regel empfehlenswert ist, an den unterspannungsseitigen Klemmen des Blocktransformators Überspannungsschutz-Kondensatoren mit einer Kapazität von mindestens 125 nF anzubringen, da diese nicht nur die Amplitude, sondern auch die Steilheit der durch den

Blocktransformator übertragenen Blitzüberspannungen herabsetzen. Über die Notwendigkeit von zusätzlichen Überspannungsableitern auf der Unterspannungsseite des Blocktransformators muss fallweise entschieden werden. Zu beachten ist, dass beim Einsatz eines Generatorschalters sowohl die Überspannungsschutz-Kondensatoren als gegebenenfalls auch die Überspannungsableiter zwischen Blocktransformator und Generatorschalter angeschlossen werden müssen, damit sie auch im Falle wirksam werden, wenn der Generatorschalter geöffnet ist.

Literatur

- [1] D. Braun und A. Guerig: Life Management for Generator Circuit-Breakers. Cigre-Report 13 to 204, 1994.
- [2] E. M. Ruoss und P. L. Kolarik: A New IEEE/ANSI Standard for Generator Circuit-Breakers. IEEE Transaction on Power Delivery 10(1995)2, 811-816.
- [3] IEC Standard 71-1, 1993: Insulation Co-ordination, Part 1: Definition, Principles and Rules.
- [4] IEC 28 (Secretariat) 95: Draft IEC Standard 71-2, Insulation Co-ordination, Part 2: Application Guide.
- [5] D. Oeding und J. Hoffmann: Berechnung übertragener transienter Überspannungen in Kraftwerken. ETZ-Archiv 12(1990)5, S. 163-169.
- [6] E. P. Dick, H. Dhirani, B. K. Gupta, P. W. Powell, R. A. Shinn, A. Greenwood und J. W. Porter: Review of Generator Surge Coordination Including Generator Breakers. IEEE Transactions on Power Delivery 3(1988)2, pp. 599-606.
- [7] E. P. Dick, B. K. Gupta, J. W. Porter und A. Greenwood: Practical Design of Generator Surge Protection. IEEE Transactions on Power Delivery 6(1991)2, pp. 736-743.

- [8] Electromagnetic Transients Program (EMTP). Rule Book, Bonneville Power Administration.
- [9] Cigre Working Group 33.02: Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients. Cigre Brochure, 1990.
- [10] Metal-Oxide Surge Arresters in AC Systems. Cigre Brochure 60, April 1991.
- [11] W. Andrä und R. Peiser: Kippschwingungen in Drehstromnetzen. ETZ-B 18(1966)22, S. 825 bis 832.
- [12] C. Bergmann: Grundlegende Untersuchungen über Kippschwingungen in Drehstromnetzen. ETZ-A 88(1967)12, S. 292-298.
- [13] E. Thuries, V. D. Pham, J. Vadaszi und J. Borgonovo: Generator Circuit-Breaker Transient Recovery Voltage in Most Severe Short-Circuit Conditions. Electra (1987)113, pp. 43-50.
- [14] E. Thuries, V. D. Pham, J. Vadaszi und J. Borgonovo: Generator Circuit-Breaker Transient Recovery Voltage under Load Current and Out-of-Phase Conditions. Electra (1989)126, pp. 55-63.
- [15] J. Vadaszi: Load Current Interruption with Generator Circuit-Breakers and Generator Load Switches. Brown Boveri Review 68(1981)8/9, pp. 316 to 325.
- [16] Der Einsatz von SF₆-Selbstblusschaltern zum Schalten von kleinen induktiven Strömen. BBC-Druckschrift Nr. CH-A 519270, 1985.
- [17] M. T. Glinkowski, M. R. Gutierrez und D. Braun: Voltage Escalation and Reignition Behavior of Vacuum Generator Circuit-Breakers During Load Shedding. IEEE PES Summer Meeting 1996.
- [18] Cigre WG of Study Committee 13: Interruption of Small Inductive Currents, Chapter 5: Switching of Unloaded Transformers, Part 1: Basic Theory and Single Phase Transformer Interruption without Reignitions. Electra (1990)133, pp. 87-107.
- [19] M. Sanders, G. Köppl und J. Kreuzer: Insulation Co-ordination Aspects for Power Stations with Generator Circuit-Breakers. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp. 1385-1393.

Coordination de l'isolation dans les centrales avec disjoncteurs d'alternateur

L'utilisation de disjoncteurs d'alternateur en centrales est aujourd'hui largement répandue. Vis-à-vis du circuit bloc elle offre des avantages importants tels un coût plus faible de l'investissement, des fonctions simplifiées, une protection améliorée, ce dont il résulte une disponibilité accrue des installations. D'autre part se pose la question des surtensions dues à l'insertion d'un appareil de commutation entre l'alternateur et le transformateur de tranche et des mesures à prendre éventuellement pour la protection contre les surtensions. Le présent travail montre les résultats de vastes calculs de surtensions, comme elles peuvent se manifester dans une centrale avec disjoncteurs d'alternateur, et les compare aux mesures également réalisées.

La figure 1 montre le schéma du système analysé, un agencement de centrale typique comprenant un alternateur de 228 MVA / 15,5 kV / 50 Hz, un disjoncteur d'alternateur avec condensateurs de 250/125 nF contre terre, un alternateur à double enroulement 220 MVA / 264 / 15,5 kV YNd5 avec parafoudres du côté tension supérieure et facultativement du côté tension inférieure. Différentes situations ont été simulées – par exemple la défaillance d'un pôle de disjoncteur lors d'un enclenchement-déclenchement (fig. 2 et 3) ou l'apparition de ferrorésonances (fig. 4) – qui engendrent des surtensions à fréquence d'exploitation, ainsi que les actions et événements suivis de surtensions transitoires (surtensions de coupure: tab. II et III, fig. 5 et 6; surtensions de foudre: fig. 7-9). Le chapitre de clôture regroupe les mesures à prendre lors de l'utilisation de disjoncteurs d'alternateur en centrales dans le cadre de la protection contre les surtensions.

Gestatten Sie, dass wir die Diskussion zum Thema

Stromsparen kurz unterbrechen und für einen

kWh-Zähler um Aufmerksamkeit bitten,

der eine Diskussion wert ist.

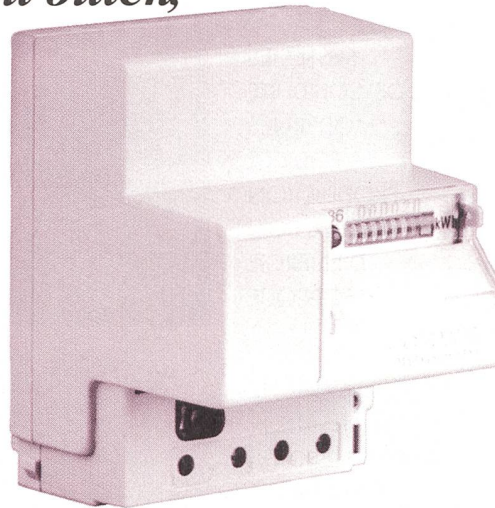
Die bewährte Zählergeneration.

Das handliche Zählerprogramm zeichnet sich besonders durch seine hohe Zuverlässigkeit aus. Es ist absolut unempfindlich gegenüber Störimpulsen und Montagelage. Dank elektronischem Messwerk sind die Zähler überall problemlos einsetzbar und geeignet für Untermessungen in Industrie, Geschäftshäusern sowie öffentlichen Bauten.

Serienmässig ist jeder Zähler mit einem galvanisch getrennten optoelektronischen Impulsausgang für die kWh-Fernerfassung versehen. Mit minimalem Platzbedarf in Postkartengrösse, aufschnappbar auf Profilschienen 35 mm, passt dieser Zähler problemlos in alle Schaltschränke und Verteilungen. Lieferbar sind Zähler für Ein- und Dreiphasenmessung.

Fordern Sie unverbindlich weitere Informationen an.

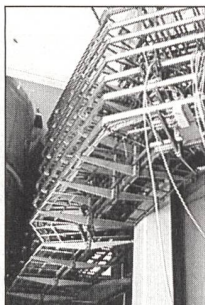
Die Zähler sind auch im Grosshandel erhältlich.



RAUSCHER&STOECKLIN AG
CH-4450 SISSACH
ELEKTROTECHNIK
TELEFON 061/971 34 66
TELEFAX 061/971 38 58

**RAUSCHER
STOECKLIN**

BIDER & MERZ



Feuerverzinkte Kabelbahnen Multibahnen Kabelpritschen und Steigleitungen

Feuerverzinkt — das gute und preisgünstige Schweizer Kabelträgersystem NEU auch feuerverzinkt nach DIN 50976 lieferbar.

- NEU: MULTIBAHNEN, Kabelbahnen und Kabelpritschen feuerverzinkt — 3 m oder 6 m Länge für grössere Abhängedistanzen und raschere Montage
 - NEU Deckenstützen und Konsolen schwer
 - Steigleitungen — NEU noch montagefreundlicher
- Beratung, Angebot, preisgünstige und rasche Lieferung von Ihrem Elektrogrossisten und von

☐ Die feuerverzinkten LANZ Multibahnen Kabelbahnen, Kabelpritschen und Steigleitungen interessieren mich. Bitte senden Sie mir Unterlagen.

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!
Name/Adresse/Tel.: _____

11



lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen • Telefon 062 388 21 21



DIE CAE/CAD-EXPERTEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK

ELCAD und AUCOPLAN sind professionelle CAE/CAD-Lösungen für die

- Schalt- und Steuerungstechnik
- MSRE-Anlageplanung
- Gebäudeleittechnik

Unsere Systeme sind zukunftssicher und stehen europaweit über 6000 mal erfolgreich im Einsatz.

Kompetent und engagiert werden Sie von unseren Branchenspezialisten bei der optimalen Nutzung dieser Lösungen zusätzlich unterstützt.

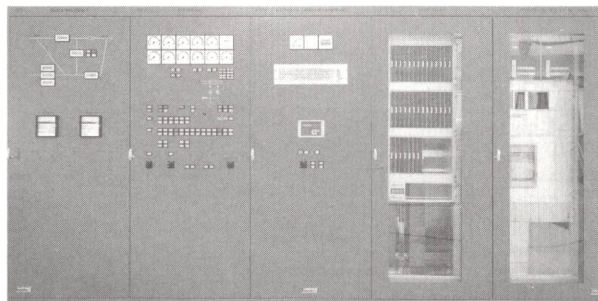
Zusammen mit dem Marktleader realisiert auch Ihr Team den entscheidenden Vorsprung!

Fordern Sie unsere Infobroschüre an!

rotring (Schweiz) AG
Riedstrasse 14
CH-8953 Dietikon
Tel. 01/740 20 21
Fax 01/742 10 52

L'AUTOMATISME SUR MESURE AUTOMATISIERUNG NACH MASS

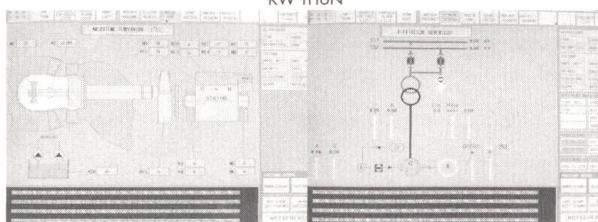
SYSTÈMES
DE CONDUITE
MODERNES
POUR LA
PRODUCTION
ET LA DISTRIBUTION
D'ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE



KW THUN

MODERNE
LEITSYSTEME
FÜR DIE
ENERGIE-
PRODUKTION
UND DIE
ENERGIE-
VERTEILUNG

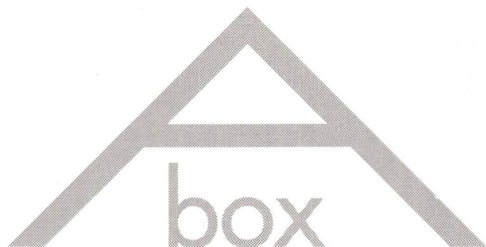
SYSTÈME MULTITÂCHE
VISUALISATION
MULTIFENÊTRAGE
GRAPHIQUE
EN COULEURS



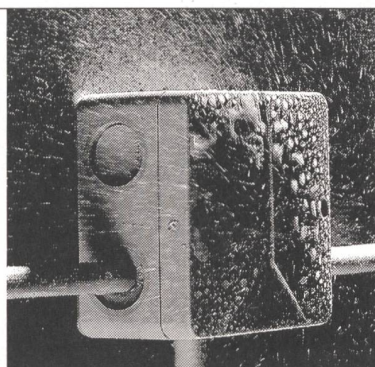
SYSTEM MULTITASK
VISUALISIERUNG
MULTIWINDOW
FARBGRAPHIK

Plus de 40 ans d'expérience dans l'automatisation
de centrales hydroélectriques

Über 40 Jahre Erfahrung in der Automatisierung
von Wasserkraftwerken



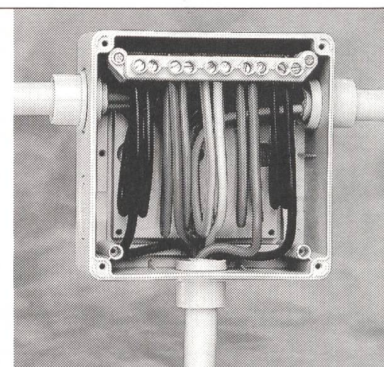
Abzweigkästen der neuen Generation in IP 65



Dichtungstechnik

2-Komponenten-Spritzgießtechnik:
Einführungsmembranen und
Deckeldichtung aus TPE in einem
Guß im Kasten integriert. Dies er-
möglicht einen bisher nicht ge-
kannten Installationskomfort, ohne
auf die hohe **Schutzart IP 65**
verzichten zu müssen.

**Sonderprospekt
sofort kostenlos
anfordern !**



Klemmentechnik

Abox-Serie mit revolutionärer
Klemmentechnik. 4-fach position-
ierbare, hochgesetzte Klemmen
bieten viel Raum für Leitungsgut,
schnelle und saubere Verdrahtung
und übersichtliche Klemmen-
anordnung.

spelsberg

Generalvertretung für die Schweiz
DE-METALL AG Elektrotechnik
Steinhaldenstr. 26 • 8954 Geroldswil
Tel. 01 / 747 80 80 • Fax 01 / 747 80 89