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: 67 (1976)

Heft: 24

Rubrik: Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension (CIGRE)

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

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

Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension (CIGRE)

26. Session vom 25. August bis 2. September 1976

Die nachfolgenden Kurzberichte über die Diskussionsversammlungen sollen unseren Lesern einen Querschnitt durch die behandelten Probleme und über die neuesten Erkenntnisse auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik vermitteln.

Diskussionsgruppe 11, Machines Tournantes

Präsident: *Z.A. Glebov*/URSS
Rapporteur spécial: *G. Ruelle*/Frankreich

Conscient du rôle de promotion des échanges de connaissances techniques assumé par la CIGRE, le Comité d'Etudes 11 a décidé de réserver dans la discussion une place importante aux nouvelles techniques et aux expériences en exploitation relatives aux générateurs de grande puissance.

L'accroissement de la puissance unitaire des turbo-alternateurs s'est un peu ralenti, les constructeurs mettant l'accent davantage sur la fiabilité que sur la recherche de l'exploit technique. Ce point de vue est nettement ressorti de la discussion du rapport 11-02 (GB) relatif à l'évaluation des turbo-alternateurs de conception avancée. Deux voies nouvelles sont proposées et font actuellement l'objet de recherches importantes:

– le turbo-alternateur sans encoches dont l'enroulement statorique est noyé dans un cylindre isolant et logé à l'intérieur d'un circuit magnétique sans encoches et dont le rotor, également sans encoches, comporte des pièces polaires et un inducteur maintenus en précontrainte par une frette isolante constituée de matériaux filamentaires («Kevlar 49» ou mieux fibres de verre «8R»),

– le cryoalternateur à inducteur supraconducteur comportant un rotor dont la partie centrale est à une température de l'ordre de 4 °K.

L'intérêt entrevu pour ces nouvelles techniques est un accroissement de la puissance limite possible dans un encombrement donné et une réduction des pertes, éventuellement du coût.

Bien que la plupart des grands constructeurs aient entamé des recherches dans l'une ou l'autre des voies précitées, il est intéressant de noter une intervention mettant en doute la nécessité de recourir à la cryogénie pour des unités de 2000 à 3000 MW à 3000 t/min ou de 3000 à 6000 MW à 1500 t/min et soulignant que les estimations relatives au coût et à la fiabilité de cette technologie relèvent de considérations très spéculatives et jusqu'à présent incontrôlables. Par contre, le refroidissement intégral à l'eau de turbo-alternateurs ou des alternateurs à pôles saillants offre des possibilités spectaculaires d'augmentation des puissances spécifiques et de réduction des pertes et du coût.

Cette technologie, parfaitement maîtrisée actuellement, a été présentée dans le rapport 11-04 (CH) sous l'angle de la fiabilité. Des résultats d'exploitation acquis au cours des dix dernières années sur des machines à pôles saillants, il ressort un taux de disponibilité de 98,78 % du même ordre, voire meilleur que celui de machines équipées d'un système de refroidissement conventionnel.

Dans les pays encore riches de ressources hydrauliques, de grands projets hydro-électriques mettent en œuvre des unités très puissantes de l'ordre de 400 à 700 MW, dont le gigantisme introduit des problèmes mécaniques ardus, qui prennent d'ailleurs le pas sur les problèmes strictement électriques. Le rapport 11-06 (USA) présente les solutions adoptées dans la conception des alternateurs de Grand Coulee (615 MVA à 72 t/min) pour lesquels un montage original en pré-extension du circuit magnétique statorique assure le maintien d'un entrefer parfaitement symétrique au cours des fluctuations thermiques du stator et du rotor et évite tout risque de flambage. A noter que le constructeur, dans un commentaire à son rapport, a signalé que pour des unités futures de taille similaire, le refroidissement à eau de l'enroulement statorique lui paraissait finalement une solution plus commode et économique.

L'accent est également mis sur les problèmes mécaniques dans le rapport 11-10 (A), consacré à la description des mesures constructives adoptées pour combattre les effets des forces transversales aléatoires très importantes générées par les pompes-turbines de grandes puissances en régime transitoire. Ce problème hydraulique ardu a été à l'origine d'incidents graves dans un certain nombre d'installations de pompage récentes et nécessite pour sa solution une étude très précise de la rigidité des appuis, du mode vibratoire et de la réponse de la ligne d'arbre à une excitation stochastique au niveau de la machine hydraulique.

Les six rapports restants se rapportaient à des sujets plus classiques, tels que le refroidissement des rotors de turbo-alternateurs, les régimes anormaux de fonctionnement et les systèmes d'excitation. Ils ont fait l'objet d'interventions intéressantes, sans toutefois provoquer le même sentiment d'actualité et d'intérêt scientifique que les quatre rapports précités. *J. Chatelain*

Diskussionsgruppe 12, Transformateurs

Präsident: *B. Sollergren*/Schweden
Rapporteur spécial: *M.R. Moore*/USA

Drei Vorzugsthemen standen nach dem Spezial-Rapport 12-00 mit insgesamt 19 Fragen zur Diskussion:

1. Zustand der Transformator-Isolation im Betrieb, Methoden zur Beurteilung und erforderliche Kriterien für einen zufriedenstellenden Betrieb.

Der Fragenkomplex A von 1 bis 5 befasste sich mit der möglichen *Verschlechterung der dielektrischen Festigkeit im Betrieb* und der zahlenmässigen Erfassung. Als Normalwerte für den Feuchtigkeitsgehalt bei den Fabrikprüfungen wurden 5–15 ppm im Öl und 0,3–0,5 % in der Zellulose-Isolation angegeben. Beim Transport der Transformatoren ohne Öl steigen die Werte an, aber nach der Vakuumbehandlung anlässlich der Ölfüllung auf der Anlage sollten die entsprechenden Werte < 20 ppm bzw. $< 1{,}0$ % sein.

Im Betrieb hängt die Feuchtigkeitsaufnahme stark vom Ölkonservierungssystem ab (konventionelle Atmung über Luftentfeuchter oder luftdichter Abschluss, z. B. mittels Gummimembrane). Der Feuchtigkeitsaustausch zwischen Öl und Zellulose in Abhängigkeit des Lastspieles und damit der Temperatur ist ein ziemlich komplizierter Vorgang; die diesbezüglichen Expertenmeinungen variierten daher entsprechend. Andererseits üben aber etwa doppelt so hohe Feuchtigkeitswerte im Laufe des Betriebes, wie 40 ppm in Öl und 2 % in der Isolation, nur wenig Einfluss auf die dielektrische Festigkeit aus; wesentlich gefährlicher sind Fasern und besonders Verunreinigungen. Ein grosser Feuchtigkeitsgehalt im Öl ist jedoch bei tiefen Temperaturen wegen Eiskristallbildung gefährlich, und ein hoher Zellulose-Feuchtigkeitsgehalt reduziert die mechanische Kurzschlussfestigkeit der Isolation. Das Öl ist im Betrieb relativ leicht zu überwachen, hingegen warf die Bestimmung des Zellulosezustandes viele Diskussionspunkte auf. Dieses Problem ist vorwiegend bei Systemspannungen $\geqq 300$ kV von Wichtigkeit, und es wurden auch für Höchstspannungstransformatoren folgende Feuchtigkeitsgrenzwerte im Betrieb vorgeschlagen:

In der Zellulose $< 0{,}5$ % und im Öl < 20 ppm bei 60 °C.

Der Fragenteil B von 6 bis 10 behandelte die *Alterung der Isolation im Betrieb* und in weiterer Konsequenz die Ermittlung neuer Testwerte. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Isolationsalterung zunimmt, wenn der Feuchtigkeitsgehalt $> 0{,}5$ % ist. Ausserdem hat der Sauerstoffgehalt des Öles erhöhten Einfluss auf die relativ begrenzten «hot spot»-Gebiete; repräsentative Werte können noch nicht fixiert werden. Physikalische La-

bortests sind nicht so leicht auf die heissesten Zonen von im Betrieb stehenden Transformatoren übertragbar. Die laufende Feuchtigkeits- und Sauerstoffgehaltüberwachung bzw. -reduzierung ist relativ kostspielig. Die Ökonomie des Aufwandes ist daher im Hinblick auf die Verlängerung der Lebensdauer eine wichtige Frage bei der Festlegung noch zulässiger Grenzwerte. Inhibierte Öle haben einen kleineren Sauerstoffverbrauch, ihre Alterung ist geringer. Generell ist der Sauerstoffeinfluss auf die Alterung bei tieferen Betriebstemperaturen weniger ausgeprägt als bei höheren (Überlasten).

Der letzte Fragenabschnitt C von 11 bis 13 geht auf die *Gasanalysen im Betrieb* ein und zeigt auch die Schwierigkeiten auf, welche bei der Interpretation der Resultate entstehen. Die Methode hat bereits grosses Interesse erregt, da sie im Service leicht anzuwenden ist; sicherlich hat diese relativ neue Prüfung grosse Zukunftsaussichten. Auf Grund des Chromatogrammes ist es in vielen Fällen möglich, auf die Ursachen und Quellen der Gasentwicklung rückzuschliessen (thermische Fehler – Überhitzung von Öl und Zellulose; elektrische Fehler – Teilentladungen usw.). Mit zunehmender Erfahrung sind sicherlich die zahlreichen Parameter noch einzuschränken, welche besonders die Beurteilung überlagerter oder kombinierter Erscheinungen erschweren. Wichtig ist dabei auch, die «normale Gasentwicklung», verursacht durch die «normale Alterung», von den anormalen Vorgängen trennen zu können. Hierher gehört auch der Einfluss der Metalle auf die Gasbildung. Bereits bei den Erwärmungsläufen in der Fabrik kann die Gasanalyse von Nutzen sein.

Als aufschlussreiche Informationsquelle wird der Rapport der «Working Group» 15-01 in der ELECTRA, Oktober 1975, angesehen.

2. Lastregelschalter, wichtige neue Entwicklungen für eine verbesserte Zuverlässigkeit, Erhöhung der Schaltleistungen und Anwendungsprobleme.

Die ausgezeichnet verfassten CIGRE-Dokumente 12-07 und 12-08 behandeln Detailprobleme wie Prüfungen, Schutzeinrichtungen, Betriebserfahrungen, Lebensdauer, Schaltvermögen, Strom- und Spannungsprobleme sowie dielektrische Beanspruchungen der *Grenzleistungs-Lastregelschalter* in Höchstspannungstransformatoren mit den damit verbundenen Zukunftsaussichten. Die Fehlerstatistik zeigt, dass 35...60 % der Störungen und Fehler an Regeltransformatoren auf Kosten der Regeleinrichtung gehen. Allerdings werden die hauptsächlichsten Betriebsunterbrechungen und Ausfälle durch den Motorantrieb (80...90 %) und den Lastumschalter (6...20 %) verursacht.

Die Diskussion der Fragen 14 bis 16 ergab eine ziemliche Übereinstimmung in den wesentlichsten Hauptpunkten:

– Lastregelschalter-Sicherheitsgrad heute zufriedenstellend, Verbesserung in Ausrüstung nötig (Antrieb).

– Gasanalyse nur sinnvoll bei völlig getrenntem Lastschalteröl (0,3 atü).

– Überlast 1,2–1,5 × I_{Nenn} bei Erhöhung des normalen Kontakttemperatursprunges von 20 °C in beschränkten Schaltzahlen (z. B. 3 %).

– Bei häufiger Überlast entsprechende Koordinierung von Transformator- und Schalternennstrom.

– Verwenden von Lastregelschaltern in Höchstspannungstransformatoren erhöht das Risiko von Betriebsunterbrechungen und Ausfällen.

3. Spezialprobleme verbunden mit Transformatoren und Kompensationsdrosselspulen (Reaktoren) für hochgespannte Gleichstromsysteme.

Dieses relativ neue Gebiet wurde erstmals vom CIGRE-Comité 12 behandelt; zurzeit sind Systeme von ±450 kV im Betrieb und in Kürze solche von ±500 kV. Das Dokument 12-04 gibt einen guten Überblick über Spannungsverteilungsprobleme, Isolationsmaterialcharakteristiken und Modellteste (s. auch ELECTRA, Mai 1976).

Die Prüfungen und Spannungsbeanspruchungen für Wechsel- und Gleichspannungen sowie für überlagerte Schalt- und Stoßspannungen bilden einen wichtigen Fragenkomplex im Zusammenhang mit den physikalischen Raumladungs- und Polaritätsproblemen. Die Meinungen auf dem jungen Gebiet der Prüfungen: Kurz- und Langzeit-Gleichspannung, Polaritätsumkehr, TE-Messung, streuten noch ziemlich bezüglich der Zweckmässigkeit und Betriebsrealistik einzelner Prüfungen und deren Kombination.

Die Schlussfrage befasste sich mit den Zukunftsaussichten der 750-kV-Gleichspannungsübertragung.

Allgemeine Aussprache

Als Versuch wurde eine freie Diskussion über beliebige Themen abgehalten. Dabei kamen folgende allgemeine Punkte zur Sprache:

Umweltfreundlichkeit von Transformatoren, Materialerhaltung in Analogie zur Energieeinsparung, Ökonomie von aufwendigen Testmethoden, übertriebener Materialeinsatz und Reservehaltung in Relation zur Betriebssicherheit

Die zukünftigen CIGRE-Themen sollten 3 Kategorien unterscheiden:

– *Herstellung (Erfahrung, Spezialwissen, Betriebsgeheimnisse)*
– *Prüfung (Neue Methoden, direkter Kontaktpunkt Erzeuger/Benutzer)*
– *Betrieb (Erfahrung, Statistik, Gedankenaustausch)*

Abschliessend folgten noch spezifische Themenanregungen:

Ultra-Höchstspannungen 1050 kV und darüber, Grenztemperaturen bei Kurzzeitüberlasten (hot spot 140–160°), Temperaturlimite bei Wasserkühlung in Äquivalenz zur Luftkühlung, Stosskurzschlussversuche und Verformungsmessungen an Modellen.

Der Diskussionsversuch wurde gut aufgenommen; zur Effektsteigerung sollte vielleicht in Zukunft doch eine grobe Vorkoordinierung nach Sachgebieten angestrebt werden. *J. Kreuzer*

Diskussionsgruppe 13, Appareillage de Coupure

Präsident: *G. Catenacci*/Italien
Rapporteur spécial: *E. Ruoss*/Schweiz

An der CIGRE-Session 1976 standen die folgenden drei sujets préférentiels zur Diskussion:

1. Wechselwirkung zwischen Schalter und Netz
2. Unterbrechung kleiner induktiver Ströme
3. Schalten in Hochspannungs-Gleichstrom-Netzen

Total wurden zu diesen Themen neun Berichte eingereicht. Erstmals wurden in einem vierten Teil der Podiumsdiskussion Themen von allgemeinem Interesse, die nicht durch die sujets préférentiels vorgegeben waren, behandelt.

Das *erste sujet préférentiel (Wechselwirkung Schalter–Netz)* ist im weiteren Sinne zu verstehen. Dies kam auch in den durch die Berichte behandelten Themen zum Ausdruck. Verschiedene Diskussionsredner berichteten über Messungen der Steilheit der wiederkehrenden Spannung beim Ausschalten von Kurzschlüssen in grossen Kraftwerken mit Generatorschaltern. Im wesentlichen wurden die Aussagen eines eingereichten Berichtes bestätigt, und es kann geschlossen werden, dass Beanspruchungen für diese Art Schalter relativ gut erfasst und überblickbar sind.

Obwohl man heute den Anfangsverlauf der transienten wiederkehrenden Spannung in Hochspannungsnetzen (ITRV) gut kennt, kamen doch recht unterschiedliche Meinungen über dessen Einfluss auf das Schaltverhalten der Schalter zum Ausdruck. Einig ist man sich, dass Fragen in diesem Zusammenhang erst bei Kurzschlußströmen von 50 kA und höher eine gewisse Bedeutung erhalten.

Die Frage, ob die ITRV oder ein entsprechender Prüfkreis definiert werden soll, ist nicht eindeutig geklärt; jedoch ist eine sehr starke Tendenz vorhanden, ähnlich wie bei der Abstandskurzschlussprüfung vorzugehen, ja sogar eine Kombination damit anzustreben.

Die Amplitude und damit die Steilheit der totalen transienten wiederkehrenden Spannung beim Ausschalten von Kurzschlüssen wird durch eine im Netz vorhandene Last gedämpft; weitere Abklärungen sind jedoch nötig, um Klarheit über das Ausmass der Dämpfung zu geben. Genannt wurden Reduktionen von 10 % bis mehr als 30 %.

Der Sprecher einer deutsch-schweizerischen Ad-hoc-Arbeitsgruppe präsentierte eine Zusammenstellung umfangreicher

Untersuchungen in deutschen und schweizerischen 420-kV-Netzen bezüglich der Häufigkeit ein- und mehrphasiger Kurzschlüsse und über das Verhältnis der entsprechenden Kurzschlußströme sowie bezüglich der dabei auftretenden Steilheiten der transienten wiederkehrenden Spannungen. Darüber ist kürzlich ein Bericht veröffentlicht worden [s. ETZ-A, Bd. 97(1976) S. 489...493]. Entsprechende italienische Untersuchungen bestätigen, dass der geerdete einpolige Erdschluss der am meisten vorkommende Fehlerfall ist. Maximale Steilheiten von ca. 2000 V/µs wurden ermittelt.

In diesem Teil der Diskussion wurden auch einige Fragen der Zuverlässigkeitsprüfung gestreift.

Es darf gesagt werden, dass das erste sujet préférentiel auf breites Interesse stiess und die Diskussion sowohl dem Hersteller wie dem Anwender interessante Aspekte aufzeigte.

Beim *zweiten sujet préférentiel (Unterbrechen kleiner induktiver Ströme)* standen die Versuchskreise zur Nachbildung der wirklichen Verhältnisse sowie die Verwendung der Resultate für die Schalteranwendung im Vordergrund. Es ist unbestritten, dass heute das Ausschalten leerlaufender Hochspannungstransformatoren keine Probleme mehr stellt; aktueller ist das Ausschalten von Hochspannungs-Kompensations-Drosselspulen, wie sie bei langen Übertragungsleitungen Verwendung finden.

Alle Experten wiesen in ihren Beiträgen direkt oder indirekt auf die Schwierigkeiten hin, die sich bei der Nachbildung von Netzverhältnissen im Prüffeld ergeben. Andererseits muss die ernsthafte Frage gestellt werden, ob eine exakte Nachbildung nötig ist. Eine genaue Voraussage von möglichen Überspannungen ist fraglich, und Mittel zur Überspannungsbegrenzung wie Ableiter sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen.

Die Diskussion des *dritten sujet préférentiel (Hochspannungs-Gleichstrom-Schalter)* zeigte, dass für die heutige Art des Betriebes einer Gleichstromübertragung mit Thyristorregelung Lösungen für Schalter möglich sind.

Ein solcher Schalter muss eine beschränkte Schaltleistung aufweisen. Ohne die Unterstützung durch die Thyristorregelung, z. B. bei Anwendung von Dioden, würde das Schaltproblem sehr schwierig, und grosse Energiemengen müssten z. B. in Widerständen umgesetzt werden.

Mehrere Experten vertraten die Auffassung, dass die Entwicklung von strombegrenzenden Gleichstromschaltern einen wichtigen Beitrag lieferten zu einer strombegrenzenden Unterbrechung von Wechselstrom. Bereits 1977 sei ein Versuchsbetrieb mit einer strombegrenzenden Einrichtung für Wechselstrom in den USA geplant.

In der *allgemeinen Diskussion* wurden die Probleme der kurzen Unterbrechungszeiten, der Zuverlässigkeit von Schaltgeräten und deren Unterhalt, insbesondere der Unterhaltskosten, gestreift. Insbesondere die Fragen der Zuverlässigkeit werden von einer CIGRE-Arbeitsgruppe auf breiter Basis studiert, und es darf angenommen werden, dass in absehbarer Zeit ein wesentlich besserer Überblick über diesen Problemkreis möglich sein wird. Wenn auch der allgemeinen Diskussion beim ersten Versuch noch Mängel anhafteten, darf aus den positiven Echos doch angenommen werden, dass diese in Zukunft zu einer erfreulichen Belebung der Diskussion führt. *E. Ruoss*

Diskussionsgruppe 14, Liaison à tension continue

Präsident: *K.S. Smedsfelt*/Schweden
Rapporteur spécial: *L. Csuros*/United Kingdom

Die Diskussion betraf die folgenden 4 im Special Report behandelten Themengruppen:

*1. Allgemeine Information über Betriebserfahrungen von bestehenden HGÜ *)-Systemen und zugehörigen Anlagen*

2. Im Bau und in der Planung begriffene HGÜ-Anlagen

3. Anwendung und Aufbau von HGÜ-Anlagen und deren Steuerungs- und Regeleinrichtung

4. Die Zukunft der HGÜ

*) HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

Ergebnisse der Diskussion:

Zu 1.

Das Betriebsverhalten der 11 bestehenden HGÜ-Anlagen wird im Bericht 14-07 ausführlich behandelt. Die seit einigen Jahren erreichte mittlere Verfügbarkeit aller Anlagen zusammen von mehr als 80 % hat sich nicht wesentlich geändert. 8 der 11 Anlagen weisen eine deutlich höhere Verfügbarkeit auf. Das ungünstigere Verhalten der restlichen 3 Anlagen wurde durch den Ausfall von nicht HGÜ-spezifischen Komponenten, z. B. Transformatoren und Kabel, verursacht. Die Abschaltzeiten zwecks Beseitigung von Fehlern und für die Wartung sollen und können noch reduziert werden. Neben der Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit soll die Zahl der Abschaltungen möglichst klein gehalten werden. Auftretende Fehler sollen nicht die Gesamtübertragung unterbrechen. Entsprechende Vorkehrungen wurden insbesondere bei dem HGÜ-Projekt Nelson River, von dem die sichere Energieversorgung der kanadischen Provinz Manitoba abhängt, getroffen. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Ersteller und Betreiber solcher Anlagen ist zur Erreichung dieses Zieles notwendig.

Zu 2.

Während die mittlere jährliche Zunahme der installierten HGÜ-Leistung zwischen 1960 und 1975 ca. 450 MW betrug, wird der Zuwachs für die zweite Hälfte der 70er Jahre auf ca. 1500 MW pro Jahr ansteigen. In den Kopfstationen von Neuanlagen werden nur noch Thyristorventile verwendet.

Die HGÜ-Stationen können auch ohne SF_6 bereits kompakt ausgeführt werden. Dabei bieten wassergekühlte Thyristorventile wegen ihres besonders geringen Platzbedarfes wesentliche Vorteile. Abhängig von den örtlichen Bedingungen und Erfordernissen kommen jedoch auch weiterhin luftgekühlte sowie ölgekühlte und ölisolierte Ventile in Betracht. In den USA ist auch die Entwicklung von SF_6-isolierten Ventilen aufgenommen worden. Ein Hauptproblem ist immer noch der relativ grosse Platzbedarf für die Filterkreise.

Neben Fernübertragungen, Seekabelverbindungen und Netzkupplungen findet die HGÜ auch für die Energieversorgung von Ballungszentren zunehmende Beachtung. Ein Bericht befasst sich mit der Verstärkung der Energieversorgung von Chicago. Beim Wirtschaftlichkeitsvergleich hat sich für eine Einspeiseleistung von 2000 MW die Gleichstromübertragung als günstiger erwiesen als eine Drehstromeinspeisung.

Zu 3.

Die Überprüfung des Konzeptes für Steuerung, Regelung und Schutz von HGÜ-Anlagen und das Zusammenwirken mit Drehstromnetzen in Modellanlagen wird für besonders wichtig angesehen und vermeidet Verzögerungen bei der Inbetriebnahme. Eventuelle Vereinfachungen oder Vernachlässigungen bei der Simulation müssen jeweils sorgfältig überlegt werden.

Die schnelle Regelbarkeit der HGÜ hat den günstigen Nebeneffekt, dass sie zur Stabilitätsstützung von Drehstromnetzen herangezogen werden kann. Davon wird zunehmend mit Erfolg Gebrauch gemacht. Die gewonnenen praktischen Erfahrungen bestätigen theoretische Untersuchungen.

Zur Blindleistungsregelung in den HGÜ-Stationen werden vermehrt statische Kompensatoren in Betracht gezogen, die vor allem betriebliche Vorteile versprechen.

Zu 4.

Die bestehenden Anlagen haben sich bewährt. Weitere Projekte befinden sich in verschiedenen Ländern in Ausarbeitung. Die Einführung der Halbleitertechnik hat die Flexibilität und Wirtschaftlichkeit verbessert, so dass die HGÜ nicht nur in Sonderfällen eine wirtschaftliche Alternative zu Drehstromübertragungen darstellt. Besonders hervorgehoben wurde, dass sich beide Übertragungssysteme gut ergänzen, indem mittels der HGÜ bei Stabilitätsschwierigkeiten in den Drehstromsystemen stützend eingegriffen werden kann.

Die Zukunft der HGÜ wurde als gesichert und die weitere Entwicklung optimistisch beurteilt. *K. Roth*

Diskussionsgruppe 15, Matériaux isolants

Präsident: Mme *R. Fallou*/Frankreich
Rapporteur spécial: *T.W. Dakin*/USA

Die Probleme wurden in 3 Gruppen eingeteilt:

1. Feste Isoliermaterialien

Auswirkungen der aus Spannung, Temperatur und mechanischen Einflüssen entstehenden Einwirkungen auf die Lebensdauer der festen Isoliermaterialien unter besonderer Berücksichtigung von lokal konzentrierten Beanspruchungen als Folge von zerstörten Stellen. Beschleunigungsmethoden, die zur Abschätzung der Einflüsse von solch kombinierten Einwirkungen angewandt werden können.

Die eingereichten Rapporte befassten sich ausschliesslich mit für Grossmaschinen verwendeten Isoliermaterialien und zeigten zum Teil widersprüchliche Versuchsergebnisse, insbesondere im Langzeitverhalten von Isolationen in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur. Die zu den aufgeführten Resultaten aufgeworfenen Fragen wurden nicht eindeutig beantwortet. Es zeigte sich deutlich, dass für gleiche Materialien unterschiedliche Werte gemessen werden können, da der Einfluss der unterschiedlichen Herstellungsart, der gewählten Form und Abmessung der Versuchsteile sowie der Versuchsanordnung sehr gross sein kann. Die Möglichkeit, durch einen Kurztest mit Versuchsobjekten kleinerer Dimension genaue Angaben über die Lebensdauer der wirklichen Konstruktion mit derselben Isolation machen zu können, wurde wiederum angezweifelt.

Ein Rapport orientierte über Versuche an extrudiertem Polyolefin für die Kabelisolation und den Einfluss von Lufteinschlüssen mikroskopischer Abmessung auf die Spannungsfestigkeit. Die Diskussion zeigte, dass auch hier Versuche nicht an kleinen Testteilen, sondern wenn möglich an ganzen Kabelstücken durchgeführt werden müssen.

2. Flüssige Dielektrika

Fortschritte in der Beurteilung von neuen Produkten der Reihe von Kohlenwasserstoffen, Syntheseprodukten usw. Verhalten von flüssigen Isolierstoffen unter hohen Feldstärken in den aus flüssigen und festen Dielektrika kombinierten Isolationen.

Die zu diesem Problemkreis aufgeworfenen Fragen fanden kein sehr grosses Interesse und blieben zur Mehrzahl unbeantwortet. Das von den Autoren Plessner und Reynolds aufgeworfene Problem des Ersatzes der Polychlorodiphenile als Imprägniermaterial bleibt weitgehend ungelöst. Das Verbot der Verwendung von PCB (Askarele) in verschiedenen Ländern erfordert eine Lösung besonders bei seiner Verwendung in Transformatoren und Kondensatoren. Wenn auch z. B. in Japan an Stelle des PCB Silikonflüssigkeiten verwendet werden, besonders für Transformatoren, so besitzt dieses Material eine wichtige Eigenschaft des PCB nicht: die hohe Flammwidrigkeit. Dasselbe gilt für den Vorschlag, Paraffinöl mit Zusätzen zur Imprägnierung von Kondensatoren mit Kunststoffdielektrikum zu verwenden. Auch ein Preisvergleich des Substitutionsmaterials mit dem PCB ist von Wichtigkeit für die Wirtschaftlichkeit des neuen Produktes.

Zwei Rapporte über Mineralöl als Isolier- und Imprägnierungsmittel wurden zur Diskussion gestellt, wobei im besonderen über den Einfluss von Zusätzen zur Stabilisierung bzw. Alterungshemmung Fragen aufgeworfen wurden. Auch sie blieben unbeantwortet.

3. Gasförmige Isolierstoffe

Fragen des Aufbaus und der Konstruktion von mit Gas isolierten Apparaten für hohe und höchste Spannungen. Sich ergebende Probleme durch das Vorhandensein von verschiedenen Festkörpern, Formen und Verschmutzungen der Oberflächen (Staub, Rückstandsbildung von Gasen, Zersetzungsprodukte).

Alle eingereichten Berichte befassten sich mit den Durchschlags-Überschlagseigenschaften bei steigender Spannung und im besonderen auch mit dem Einfluss der Form der Elektroden und der Oberflächenbeschaffenheit auf Teilentladungen. Zudem wurde über Versuche mit Stickstoff oder einem Gemisch aus Stickstoff und SF_6 berichtet. Die Diskussionsbeiträge zeigten auch die Auswirkung der Teilentladungen auf die Durchbruchsspannung, und ein von einem Autor eines Rapportes aus den USA gezeigter Film verdeutlichte in eindrucksvoller Weise die Teilchenbewegung bei angelegter Spannung und die überraschende Beeinflussung derselben durch Beigabe von Stickstoff zum SF_6-Gas.

Allgemeine Diskussion

Die Extrapolation statistischer Auswertungen von Resultaten jeglicher Art an Testserien und Versuchsobjekten kleinerer Dimension als die industriell hergestellten Maschinen und Apparate auf diese wurde durchgehend verneint. Dass Teilentladungsmessungen noch nicht eindeutige Aussagen über die Durchschlagsspannung oder die Lebensdauer ergeben, beweisen verschiedene Überlegungen und Einwände. Aus solchen Resultaten einen Rückschluss auf die Dauerbetriebsspannung zu ziehen und sie deshalb als zerstörungsfreie Prüfung zu bewerten, ist immer noch mit einem gewissen Unsicherheitsfaktor belastet. *H. Elsner*

Diskussionsgruppe 21, Câbles isolés à haute tension

Président: *D. J. Shipper*/United Kingdom
Rapporteur spécial: *P. Gazzana-Priaroggia*/Italien

La discussion a porté presque exclusivement sur les trois sujets préférentiels.

1. Câbles sous-marins et câbles à courant continu

Aucun rapport n'avait été présenté sur ce sujet, mais on a beaucoup parlé de la protection des câbles sous-marins contre les avaries d'origine externe (engins de pêche, ancres). La méthode généralement utilisée est l'ensouillage dans une fouille creusée par une charrue sous-marine (vitesse 500 à 800 m/h) ou un jet sous pression (moins rapide).

2. Câbles à isolation synthétique

Le polyéthylène réticulé est envisagé jusqu'à 225 ou 275 kV. Le polyéthylène non réticulé, utilisé en 225 kV, serait envisageable jusqu'à 400 kV.

L'influence néfaste d'une pénétration d'eau jusqu'au conducteur se confirme et de nombreux travaux d'études cherchent à expliquer le mécanisme de cette dégradation. Pour les plus hautes tensions, la tendance à prévoir systématiquement une gaine étanche se renforce.

L'étude statistique des résultats d'essais constitue aujourd'hui un outil reconnu pour qualifier les câbles à isolation extrudée du point de vue de leurs performances en service.

L'Electricité de France a annoncé qu'après plusieurs années d'études comparatives, elle avait décidé de choisir le polyéthylène réticulé comme isolation des câbles normalisés pour le réseau 20 kV.

3. Câbles de grandes puissances

Pour les câbles à huile, des essais sont en cours pour les tensions de 750 et 1000 kV en utilisant des huiles spéciales sous pression et des rubans synthétiques en combinaison avec de la cellulose. Les essais et quelques réalisations confirment la possibilité de transporter 3 GVA avec un refroidissement forcé (par exemple à 400 kV avec un conducteur de 3000 m²). Pour des puissances plus élevées, il faudra recourir au refroidissement intérieur avec de l'eau, mais la mise au point des accessoires reste à faire.

Dans le domaine des cryocâbles et des supraconducteurs, les possibilités techniques semblent réelles, mais la rentabilité et la nécessité de tels câbles soulèvent de gros points d'interrogation. Certains laboratoires ont arrêté les essais à ce sujet.

4. Sujets préférentiels pour 1978

Le Comité d'études 21 a décidé de conserver pour la prochaine CIGRE les trois mêmes sujets préférentiels. *B. Schmidt*

Diskussionsgruppe 22, Lignes aériennes

Président: *A.B. Wood*/United Kingdom
Rapporteur spécial: *H.B. White*/Canada

Les questions principales qui pouvaient être soulevées par les 15 rapports publiés dans le cadre du Groupe ont trait aux sujets préférentiels. On peut résumer ainsi le résultat des interventions des nombreux délégués et des discussions:

1. Effets mécaniques et thermiques des courants de court-circuit élevés sur les éléments principaux d'une ligne de transport

Les discussions ont fait apparaître de très nombreuses divergences entre les délégués sur l'importance des courants de court-circuit qu'il faut réellement prendre en considération et sur les mesures qu'il est nécessaire d'appliquer pour protéger une ligne contre des courants de court-circuit élevés.

La valeur du courant de court-circuit diminuant avec l'éloignement des postes, il devrait être possible de ne protéger qu'une certaine longueur de ligne sur un tronçon qui pourrait être calculé. La longueur du tronçon à considérer fait également l'objet de divergences.

Il faut signaler qu'en Amérique du Nord on ne prend presque pas de précautions pour protéger l'extrémité terre des chaînes d'isolateurs et que les accessoires de protection sont presque toujours en aluminium de faible épaisseur, alors que de nombreux pays européens utilisent souvent de lourdes et importantes armatures d'acier.

Aucune réponse nette n'a pu être donnée sur le coût du sectionnement d'un réseau ainsi que sur le coût de dispositifs limitant les courants de défaut en comparaison des coûts entraînés par les diverses mesures prises pour assurer la sécurité mécanique d'une ligne vis-à-vis des forts courants de court-circuit.

2. Sécurité des lignes et application de données d'essais, météorologiques et d'avaries avec techniques analytiques pour déterminer les paramètres de calcul de tous les éléments de lignes

Plusieurs experts provenant de pays où le problème du givre est une des causes fréquente d'avarie admettent que les effets du vent et du givre peuvent se produire simultanément sur les conducteurs d'une ligne. C'est la raison pour laquelle un double cas de charge est prévu dans la réglementation de différents pays. Il n'a cependant pas été possible de fixer une vitesse limite du vent au-delà de laquelle le givre ne se forme plus, voire même diminue, afin de confirmer ce qui est mentionné dans le rapport tchécoslovaque 22-02, lequel fixe ce seuil à 100 km/h. D'autres facteurs, tels que l'humidité de l'air, la température, la direction du vent et la durée de la période de givre par exemple, doivent également être pris en considération pour fixer cette limite.

Cependant les résultats des études et recherches faites au sujet de l'influence de la direction du vent sur la formation du givre font apparaître d'importantes divergences, puisque certains délégués arrivent à la conclusion que la direction du vent n'a pas d'influence sur la formation du givre ce que d'autres contestaient vivement, en particulier les représentants de la Norvège et des pays nordiques.

Il serait utile d'unifier les méthodes de mesure et surtout de fixer une hauteur du sol suffisante pour les observations, 5 mètres au-dessus du sol paraissant nettement trop bas à de nombreux délégués.

Afin de réduire le risque de chute de ligne en cascade lors d'une avarie, les délégués sont d'accord qu'il y a lieu d'augmenter la résistance longitudinale des pylônes d'alignement, ou d'introduire des pylônes d'amarrage à certaines distances fixes, ce qui implique l'acceptation d'une cascade d'ordre mineur. La France a solutionné ce problème à son entière satisfaction en utilisant des pinces de suspension à serrage contrôlé (ou pinces à glissement), elle est le seul pays à utiliser cette méthode qui est cependant inapplicable dans les régions givrées.

Selon les observations de plusieurs délégués, les conducteurs en faisceau sont plus enclins à galoper que les conducteurs simples. Le phénomène a pu être observé en France sur une seule phase pendant plus de 4 heures. Pour l'instant, les très grandes portées de traversée de rivière par des lignes en faisceau ne semblent pas affectées par ce phénomène. Aucune réponse n'a pu être donnée pour justifier que les faisceaux étaient, ou n'étaient pas, plus vulnérables au galop que les conducteurs simples. Différentes études sont en cours à ce sujet et un rapport est annoncé pour la prochaine session par un délégué allemand.

3. Application structurelle des matériaux nouveaux pour les pylônes, fondations, isolateurs et conducteurs, ainsi que leur influence sur les méthodes de construction

Des renseignements ont été donnés sur le pieu spécial à jaquette qui a la propriété de comprimer fortement le sol en contact avec le pieu, grâce à des injections à haute pression effectuées à travers des fentes après l'enfoncement du pieu.

Les avantages et les inconvénients des conducteurs en alliage d'aluminium ont fait ensuite l'objet des discussions. Il y a lieu de relever que les avantages mécaniques des conducteurs fabriqués avec les alliages utilisés actuellement se font au détriment de la résistance électrique et qu'une justification purement économique ne peut être invoquée pour leur utilisation. Aucun alliage nouveau avec une meilleure conductivité que les alliages existants n'a été présenté. Des ruptures de brins sur des fils d'Aldrey ont été observées. Alors que ce phénomène reste encore inexpliqué pour la plupart des cas, le 80 % des ruptures observées en France semblerait provenir de soudures à froid.

Un nouveau type d'isolateurs en porcelaine, renforcé métalliquement et dont les éléments se vissent les uns sur les autres, a été présenté par un délégué d'Australie.

L'évolution générale se fait cependant vers les isolateurs dits «synthétiques» ou «plastiques» qui sont renforcés à la fibre de verre et pour lesquels il paraît nécessaire de trouver un nom. Il ressort des discussions entre délégués qu'il est indispensable de fixer un programme d'essais spécifiques pour ce genre d'isolateurs qui ne peuvent être soumis aux règles d'essais d'isolateurs conventionnels.

Il mérite encore d'être souligné que cette séance du Groupe était la dernière présidée par M. Wood qui sera remplacé par M. V. Burgsdorf d'URSS. *P. de Weck*

Diskussionsgruppe 23, Postes

Président: *H.-G. Müller*/Deutschland
Rapporteur spécial: *J.E. Baumann*/Schweiz

Zur Diskussion standen drei «sujets préférentiels» zu folgenden Themenkreisen:

1. Die Automatisierung von Schaltanlagen

2. Die Auslegung von Hoch- und Höchstspannungs-Schaltanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses hoher Ströme

3. Technische Gesichtspunkte und Probleme des Umweltschutzes im Zusammenhang mit der Einführung von Freileitungen in Schaltanlagen

Unter der Leitung von Dr. H.-G. Müller wurden die 12 eingereichten Berichte in vier Themengruppen diskutiert, wobei nebst den vorbereiteten Voten erfreulich viele spontane Äusserungen aus dem Zuhörerkreis zu verzeichnen waren.

Das *erste Thema* war der durch Prozessrechner gestützten Automatisierung gewidmet. Im allgemeinen hat man Vertrauen in die moderne Steuerungs- und Überwachungskonzeption, welche zudem durch die Selbstkontrolle der Automatik eine einfache Möglichkeit bietet, Fehler in den Steuerkreisen zu erfassen, bevor sie sich in der Anlage auswirken. Speziell wurde darauf hingewiesen, dass die notwendige Redundanz ohne viel Aufwand und mit geringen Kosten erreicht werden kann. Allerdings ist eine sehr sorgfältige Planung und Ausführung der gesamten Steuereinrichtungen unbedingt erforderlich, was einen grösseren Aufwand für das Engineering bedingt. Insbesondere ist den Beeinflussungsfragen grosse Aufmerksamkeit zu schenken, und verschiedene Redner unterstrichen ferner die Notwendigkeit einer zuverlässigen Verdrahtung.

Ein eindrücklicher Film leitete das *zweite Thema* über die Auswirkungen von sehr hohen Strömen in Schaltanlagen ein. Aus

der Diskussion ging als erstes hervor, dass die im Film gezeigten Hochstromversuche sehr kostspielig sind, weshalb nach möglichst zuverlässigen Berechnungsmethoden für die Beanspruchung der Anlageteile im Störungsfall gesucht werden muss. Dies erfordert eine gute Koordination zwischen Theorie und Praxis, denn es ist nur in beschränktem Rahmen möglich, die Ergebnisse von einer Anlagedisposition auf ähnliche Anordnungen zu übertragen, da die verschiedenen Parameter das Resultat wesentlich beeinflussen. Aus dem gleichen Grund ist es nicht möglich, eine allgemeine Methode bzw. ein Computerprogramm zu finden, welches in einfacher Weise auf die verschiedenen Fälle angepasst werden kann. Eine massgebliche Einflussgrösse ist z. B. die Einwirkungsdauer, und mehrere Redner hoben hervor, dass die hohen Kurzschlußströme innert weniger Perioden zuverlässig unterbrochen werden müssen, um die dynamischen Beanspruchungen mit vertretbarem konstruktivem Aufwand beherrschen zu können.

Die Forderung nach immer grösseren Übertragungsleistungen führt zu hohen Dauerbetriebsströmen von einigen kA, so dass die Verluste in den Leitern bei der Dimensionierung der Schaltanlage vermehrt ins Gewicht fallen. Eine in diesem Zusammenhang vorgeschlagene Erhöhung der zulässigen Erwärmung wird jedoch wegen der thermischen Materialbeanspruchung nicht befürwortet, hingegen sind Ansätze vorhanden, günstigere lokale, meteorologische Bedingungen auszunützen.

Relativ wenig Interesse fand die *dritte Themengruppe*. Es scheint, dass zurzeit die Probleme hoher Spannungen von denjenigen hoher Ströme verdrängt werden. Um bei Spannungen von 765 kV und höher den Problemen der Umweltbelastung und der Optimierung aus Platz- und Kostengründen auszuweichen, ist ein Trend zur Lösung mittels gekapselter Elemente festzustellen. Verschiedentlich wurde jedoch davor gewarnt, das Heil in einer neuen Technik zu suchen, statt von den langjährigen Erfahrungen mit konventioneller Bauweise zu profitieren.

Das *letzte Thema* war dem Umweltschutz gewidmet. Die Anlagebauer sind sich der Umweltprobleme bewusst, und verschiedene Lösungsmöglichkeiten, die Forderungen des Landschaftsschutzes mit den Bedürfnissen der Technik in Einklang zu bringen, wurden gezeigt. Fast alle Redner wiesen jedoch auf die ökonomischen Gesichtspunkte hin.

Entsprechend den neuen Regeln der CIGRE wurde die Session mit einer *freien Diskussion* über gekapselte Schaltanlagen abgeschlossen, wobei Probleme über Versuche mit Gleichstrom, HF-Übertragung, Feuerschutz und Verschmutzung bei der Montage erörtert wurden. *P. Frischmuth*

Diskussionsgruppe 31, Réseaux de transport

Präsident: *H.C. Barnes*/USA
Rapporteur spécial: *A. Goldstein*/Schweiz

1. Einfluss der Energiespeicherung auf die Übertragungssysteme

Folgende Speichertechnologien wurden in den Berichten genannt: Pumpspeicherung, Druckluft, Heissdampf, heisses Öl und Batterien. Letztere sind heute noch zu teuer, um konkurrenzfähig zu sein. Speicherung gestattet, mit kleineren Spitzenleistungen auszukommen und Heizöl für thermische Kraftwerke zu sparen, nach Huse, USA, in seinem Lande 300 Mio Fässer Öl pro Jahr bei 15 % Speicherkapazität. Italien wird, nach Prof. L. Paris, 1982 über 12 % Speicherkapazität vor allem in Pumpspeicherwerken verfügen. Allgemein bestehen heute gute Bedarfsberechnungsmethoden für Speicher. In Frankreich wird nach Leclerc geplant, ein Kernkraftwerk von 900 MW kombiniert zur Wärmespeicherung mit heissem Öl zur Heisswasserlieferung für den Eigenbedarf und die Industrie und als Spitzenkraftwerk auszurüsten.

2. Einfluss von Umweltschutz-, Gesundheits- und Sicherheitsfragen auf elektrische Energieversorgungssysteme

Barnes betonte einleitend, dass Umweltschutz nicht so weit getrieben werden dürfe, dass er unsere Lebensqualität gefährde. Als Gastreferent berichtete Prof. F. Wallace, USA, über die Hearings vor der Public Power Commission des Staates New York zum Bau einer 765-kV-Leitung von Canada nach New York, um damit während 7 Monaten 800 MW Sommerenergie für die Klimaanlagen New Yorks zu beziehen. Damit könnten jährlich $ 45 Mio Brennstoffkosten für thermische Kraftwerke eingespart werden. Der Vertrag war 1973 abgeschlossen worden, die Bewilligung steht erst jetzt vor der Tür, nachdem 10 000 Seiten Akten und Aussagen verarbeitet worden waren. Es ist zu hoffen, dass der positive Ausgang dieser sehr gründlichen Untersuchung günstige Auswirkungen zeitigen werde.

Vanco, USA, berichtete über Versuche an Kleintieren, Vögeln und Getreide mit Feldstärken von 40 bis 80 kV/m bei bis zu 4 Wochen Dauer, ohne messbare Schäden, und Schneider, Deutschland, über Messungen an Studenten mit bis zu 20 kV/m, ebenfalls ohne messbare schädliche ärztliche Befunde.

3. Neue Betriebs-, Versuchs- und Studienresultate über Höchstspannungssysteme

Auf Grund der Versuche in Höchstspannungsforschungsanlagen liegen die höchsten heute realisierbaren Übertragungsspannungen zwischen 1500 und 2000 kV Drehstrom, wobei weniger die Spannungsfestigkeit als die Corona und die dadurch erzeugten Radio- und akustischen Geräusche die Grenze bestimmen. Nach Harrison, Canada, ist bei Gleichspannung besonders auf die Isolatorenverschmutzung zu achten.

Die von Rikh, Indien, vorgeschlagenen Bündelleiter mit grossem Adernabstand bis zu 1 m bringen nach verschiedenen Sprechern keine Erhöhung der Übertragungsleistungen. Johnson, Australien, schildert in bewegten Worten, wie in seinem Lande nun seit Jahren der Bau neuer Kraftwerke und Leitungen unter dem Vorwande des Umweltschutzes hintertrieben werde, mit dem Resultat, dass heute die Stabilität des Netzbetriebes äusserst gefährdet ist. Prof. Burgsdorf, UdSSR, ergänzt seinen Bericht über die geplante 1200-kV-Drehstromleitung von 1170 km Länge in Sibirien. Sie wird keine höheren Feldstärken und Geräusche haben als die vielen seit Jahren laufenden 500-kV-Leitungen, nämlich maximal 12 kV/m.

Barthold, USA, berichtete über die Arbeiten der Arbeitsgruppe für statische Blindleistungskompensation. Nach einer Auflistung der Methoden werden nun Verfahren für Modellrechnungen zusammengestellt. In der Diskussion werden viele Untersuchungsergebnisse mitgeteilt, insbesondere über Kombinationen von Serie- und Shunt-Kompensation und ihren Einfluss auf die Stabilität der Übertragung. In Brasilien und Venezuela bestehen grosse 800-kV-Projekte, die so ausgerüstet werden sollen.

Die in einem Bericht beschriebene Schutzschaltung gegen subsynchrone Resonanzerscheinungen zwischen Netzen mit Seriekompensation und Turbogeneratoren ist seither erfolgreich in Betrieb genommen worden, wie Tice, USA, berichtet.

Mit dieser Session beendete das bisherige Studienkomitee 31 seine Arbeit. Ein neues Komitee 31 wird sich nur noch den elektrotechnischen Systemfragen widmen, während ein Komitee 41 sich ganz allgemein mit dem Einfluss zukünftiger technischer und/oder politischer Entwicklungen auf elektrische Energieversorgungssysteme befassen wird. *A. Goldstein*

Diskussionsgruppe 32, Planification et exploitation des réseaux

Präsident: *M. Valtorta*/Italien
Rapporteur spécial: *H. Balériaux*/Belgien

Entsprechend der Zielsetzung der Gruppe 32 reichten die eingegangenen 20 Berichte von der Planung neuer Höchstspannungsnetze, deren Auslegungskriterien und deren dynamischem Verhalten, über Massnahmen zur Stabilitätsverbesserung und spezielle Analysemethoden bis zur Führung von Netzen, insbesondere zur derzeit aktuellen Frage der Zustandserkennung (State Estimation).

Von den Berichten seien die Planungsstudien über das Übertragungssystem Itaipu in Brasilien und über die Entwicklung des Netzes in England und Wales sowie die Studie über die für Stabilitätsuntersuchungen notwendigen Generatorparameter und der Komiteebericht über State Estimation hervorgehoben.

Aus dem ersten Teil der Diskussion sind die Beiträge für und wider ein überlagertes Höchstspannungsniveau (1000 kV) erwähnenswert. Es zeigte sich, dass diese Frage sehr stark von der Lastdichte, von den Entfernungen zwischen Zentren der Erzeugung und des Verbrauchs sowie von den möglichen Standorten für neue Kraftwerke abhängt. Schweden wird in nächster Zeit den Schritt zu einem überlagerten 800-kV-System machen, dagegen haben sich die Vertreter der Bundesrepublik und Grossbritanniens für den Ausbau des bestehenden 400-kV-Netzes ausgesprochen.

Von Bedeutung für das zukünftige Netz, abgesehen von der Höhe der Übertragungsspannung, ist die Anordnung von Kernkraftwerken in Meeresnähe (Kühlung). Dieser Tendenz steht der Wunsch gegenüber, die Kraftwerke in die Nähe der Verbraucher zu legen. In der Diskussion wurde dazu keine eindeutige Antwort gegeben. Die Electricité de France gibt in ihrem Bericht eine umfassende Einsicht über die systematische Ausbauplanung ihres Netzes, ohne diese speziellen Fragen hervorzuheben.

Im Bereich des dynamischen Verhaltens des Netzes beginnt das Konzept «Long-term system dynamics» an Bedeutung zu gewinnen. Man analysiert dabei die Auswirkungen von Störungen, Schalthandlungen, Reaktionen des Turbinen- und Kesselreglers, der Schutzrelais, sowie das Verhalten der Last, um damit Netzzusammenbrüche, die sich erst Minuten nach den anfänglichen Störungen ergeben, zu erklären und nachzubilden.

Die Fragen bezüglich Auslegung von Reglern und Erregersystemen, von zu verwendenden Parametern haben sich im bisher bekannten Rahmen bewegt und eine bestätigende Antwort erhalten. Besonders die Verwendung von Zusatzsignalen (Leistung) im Erregersystem von Generatoren sowie die Auslegung des Spannungsreglers mit einer hohen Kreisverstärkung unter Einschluss von PID-Filtern haben einmal mehr ihre Bestätigung gefunden. Darüber hinaus spricht man von der Notwendigkeit einer Anpassung der Regelparameter im Realzeitbetrieb.

Die Diskussion um die Zustandserkennung konzentrierte sich einerseits auf die Leistungsfähigkeit des Estimators, andererseits auf die Frage der zentralen bzw. dezentralen Durchführung. Die dezentrale Durchführung, nach Regionen orientiert, wird in Schweden eingeführt. Daneben sind mehrere zentrale Estimatoren in Betrieb. Dabei wird jedoch noch von keiner Installation berichtet, bei der der Estimator bei jedem Fernwirkzyklus oder in jeder Minute aufgerufen wird. Je mehr jedoch höherwertige Funktionen in der Netzführung Eingang finden, desto mehr ist daran zu denken, den Estimator mit einer grösseren Häufigkeit laufen zu lassen. *H. Glavitsch*

Diskussionsgruppe 33, Surtension et coordination de l'isolement

Präsident: *V. Palva*/Finnland
Rapporteur spécial: *G. Carrera*/Italien

Ein *erster Themenkreis* umfasste die Anwendung und Prüfung von Ableitern in Höchst- und Ultrahöchstspannungsnetzen. Im Hinblick auf die Löschfähigkeit bei den geforderten tiefen Ansprechspannungen bzw. Schutzniveaus erweisen sich, vom Netz her gesehen, die Höhe und Dauer der Überspannung in Verbindung mit der wirksamen Netzimpedanz und, vom Ableiter her gesehen, die Amplitude des Anfangsstromes und die Energieaufnahme als bestimmende Parameter. Ein erstes Kriterium für eine der Ableiteranwendung angepasste Klassierung der Überspannung stellt die Dauer des Vorganges dar, wobei die spezielle Aufmerksamkeit der länger andauernden Überspannung gilt. Wie Messungen in einem 420-kV-Netz gezeigt haben, können solche unter dem englischen Ausdruck «temporary overvoltage» zusammengefassten Erscheinungen bei Lastabwurf unter bestimmten Bedingungen infolge Resonanz auch auf kurzen Leitungsstücken auftreten. Die Notwendigkeit der Einführung einer Arbeitsprüfung des Ableiters mit Schaltüberspannung scheint unbestritten. Die Festlegung des Prüfkreises bedarf aber noch weiterer Studien. Die Diskussion über die zweckmässige Nachbildung der natürlichen Verschmutzung im Labor zeigte recht divergierende Meinungen. Der Vorschlag, nicht nur die Überschläge selbst, sondern den Vorentlademechanismus näher zu untersuchen, stellt vielleicht eine geeignete Ausgangsbasis zur Beurteilung der bestehenden Prüfungen und Resultate dar.

Ein neuer, erstmals an der CIGRE näher beschriebener Ableitertyp hat als Aktivteil keine Funkenstrecken mehr, sondern besteht nur noch aus der Serieschaltung extrem nichtlinearer Widerstände, hergestellt aus Metalloxyden. Für den sicheren Einsatz in Hochspannungsnetzen fehlen zurzeit noch weitgehend sowohl Prüfergebnisse als auch Erfahrungen.

Dem Problem der Phasen-Phasen-Isolation und der Längsisolation von Trennern und Schaltern war der *zweite Themenkreis* gewidmet. Mehrelektrodenanordnungen, wie sie z. B. jede Anlage aufweist, zeigen mit zunehmender Netzspannung, insbesondere aber im Bereich der Ultrahöchstspannung, eine zunehmende, gegenseitige Beeinflussung der Haltespannung. Dies zwingt den Anlageplaner, bei der Beurteilung der Isolationskoordination die Leiteranordnung als Ganzes zu betrachten, erfordert aber auch entsprechende Versuche im Labor. Ein von IREQ Canada vorgesehenes Programm, das wiederholt die mittels eines Analogrechners erhaltenen Oszillogramme einer einzelnen Schaltung mit entsprechenden Labormessungen vergleicht und daraus die Fehlerwahrscheinlichkeit bestimmt, könnte hier eine wertvolle Hilfe sein. Praktische und wirklichkeitsnahe Resultate für eine Betriebsspannung von 1000 kV sind aus den durch die ENEL in Italien vorgesehenen Versuchen an einer im Aufbau begriffenen ca. 1 km langen Freileitung zu erwarten. Wie komplex die Isolationskoordination mit mehreren Elektroden ist, zeigt die Tatsache, dass für die Haltespannung nicht nur der zwischen den Elektroden auftretende maximale Momentanwert der Spannung massgebend ist, sondern dass die zeitliche Verschiebung der auf die beiden Elektroden mit verschiedener Polarität gegebenen Stösse ebenfalls eine wichtige Rolle spielen kann. Die Auswirkungen der dritten Phase hingegen scheint eher klein zu sein.

Ausgewählte Probleme der Isolationskoordination bildeten den Inhalt des *dritten Themenkreises*. Trotz zahlreicher Veröffentlichungen über den Schutz von SF_6-Anlagen wird auch weiterhin nach einem allgemein anwendbaren Konzept gesucht. Kurze Impulse, in der Regel eine Folge eines Blitzeinschlages, gelten übereinstimmend als hier zu betrachtende Überspannung. Neben einigen generellen Empfehlungen erscheint es aber auch in naher Zukunft notwendig, jede Anlage einzeln zu studieren. Eine Schutzfunkenstrecke in SF_6-Gas stellt eine in Japan in Entwicklung und Prüfung befindliche Lösung dar. Unsicherheit beim Ansprechen, Polaritätseinfluss, Einleiten eines Kurzschlusses, der vom Schalter beseitigt werden muss, Ausgleichsvorgänge beim Ansprechen ergeben eine ablehnende Haltung gegenüber dieser Lösung.

Der in diesem Jahr erstmals eingeführte *freie Diskussionsteil* wurde in drei Themen gegliedert:

1. Gültigkeit der Überspannungsberechnungen mit Analogmodell oder Computer. Eine Genauigkeit von 5 % scheint möglich, wobei der Nachweis durch Netzmessungen so oft als möglich erbracht werden sollte.
2. Anwendung der Resultate aus Laborversuchen bzw. des Wissens über den Entlademechanismus für die Bestimmung der Isolationsabmessungen. Das Hauptinteresse lag hier bei Verschmutzungsproblemen. Einigkeit konnte jedoch weder im Vorgehen noch bei der Beurteilung der Resultate erzielt werden.
3. Statistische Angaben als Grundlage für Versuchsbedingungen. Die Umfrage über Häufigkeit von Fehlern und Schalthandlungen in Netzen mit einer Betriebsspannung grösser gleich 300 kV befindet sich noch im Stadium der Auswertung. *U. Burger*

Diskussionsgruppe 35, Télétransmissions

Präsident: *J.K. Carrothers*/Irland
Rapporteur spécial: *M. Molleville*/Frankreich

Auch dieses Jahr gelang es auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik nur einer bescheidenen Anzahl von fünf Berichten, die Hürde der Auswahl in den Nationalkomitees zu überspringen. Ein weiterer Beitrag aus Grossbritannien wurde «auf Wunsch des Präsidenten des Studienkomitees» angenommen.

Das breite Tätigkeitsgebiet des Komitees erschwert einerseits eine zusammenfassende Darstellung aller Beiträge und Diskussionen; anderseits erlaubt die kleine Zahl der diskutierten Berichte eine stichwortartige Wiedergabe im Einzelnen. Die meisten Arbeiten sind allerdings von beschreibender Natur, weshalb sie nicht zu Streitgesprächen Anlass gaben.

Ein brasilianischer Beitrag, *Telecommunication by means of microwaves for an electric utility,* beschreibt ein ausgedehntes integriertes Nachrichtennetz, das im Endausbau (1977) nahezu 100 Funkstationen umfassen wird, wovon die meisten im 7-GHz-Band, also im Mikrowellengebiet, mit einer Kapazität von 960 Telefonkanälen arbeiten werden. Die Zubringerverbindungen basieren zum Teil auf UHF-Strecken mit 24-Kanal-Ausrüstungen. Probleme der Telefonautomatik, der Überwachung, der Verfügbarkeit und des Unterhalts werden gestreift.

Einige Diskussionsbeiträge liessen durchblicken, dass die Notwendigkeit für eine derart grosse Informationskapazität nicht überall verstanden wird.

Drei Berichte befassen sich mit Systemen der Datenerfassung und Übertragung in der Fernwirktechnik:

Adaptive system for collection and transmission of operational dispatcher information in power systems (UdSSR)

The security of supervisory-control messages transmitted in power line carrier channels (Australien)

Communication and telecontrol facilities for power system control in Great Britain (Grossbritannien).

Die russische Arbeit greift auf teilweise bekannte Ideen der adaptiven Datenreduktion zurück, um die vorhandene Übertragungskapazität besser auszunützen und (z. B. durch Übertragung von Zustandsänderungen statt von Zuständen) Verzögerungszeiten klein zu halten. Es ist anzunehmen, dass moderne Mikroprozessoren einer ähnlichen, wahrscheinlich ausgefeilteren Technik zum Durchbruch verhelfen werden.

Im australischen Beitrag werden Fragen des Geräuschcharakters und der optimalen Kombination von Codierung und Stördetektion zur Vermeidung falscher Fernwirkbefehle angeschnitten. In der Diskussion wurde festgestellt, dass der Bericht einseitig Wege zur Reduktion der Falschbefehlrate zeigt, ohne gleichzeitig auf die dadurch erhöhte Wahrscheinlichkeit des Befehlsverlusts einzugehen.

Der britische Beitrag stellt eine eindrückliche Zusammenstellung des «state of the art» der Fernwirktechnik, ihrer Philosophien und Gegebenheiten in den drei Ländern England, Wales und Schottland dar.

Zwei weitere Arbeiten befassen sich mit der Nachrichtenübertragung über Hochspannungsleitungen:

A new approach to determine the carrier signal attenuation on horizontal HV lines both under normal and abnormal conditions (Schweiz)

und *Overhead communication power line and coupling device for power and information transmission systems in high-voltage power line networks* (Bundesrepublik Deutschland).

Der schweizerische Beitrag beschreibt die Fortsetzung der 1974 erstmals vorgestellten theoretischen Arbeiten zum Problem der Wellenausbreitung auf Mehrleitersystemen im Fall von Transpositionen und – neu – Leitungsfehlern, d. h. Kurzschlüssen und Erdschlüssen. Die Anwendung der Methode der modalen Zerlegung auf den Fehlerfall führt zum Teil zu überraschenden Resultaten, die für die Systemplanung von grosser Wichtigkeit sind; z. B. kann die Dämpfung des Hochfrequenzsignals im Fehlerfall kleiner sein als im fehlerfreien Zustand.

Die deutsche Arbeit stiess ebenfalls auf grosses Interesse, zeigt sie doch, dass einzelne Phasenseile durch den Einbau eines Sternviererkabels zu hochwertigen Nachrichtenübertragungskanälen umgestaltet werden können. Richtlinien über die Dimensionierung der Ankopplungseinrichtungen und der Isolationsfestigkeit für eine 110-kV-Leitung werden gegeben. *F. Eggimann*

Diskussionsgruppe 36, Perturbations

Präsident: *M. Paimbœuf*/Frankreich
Rapporteur spécial: *C. Gary*/Frankreich

In Anlehnung an die allgemein erhöhte Sensibilisierung unserer Gesellschaft auf Umweltschutzprobleme hat der Rapporteur spécial das Tätigkeitsgebiet des Studienkomitees 36 nicht unzutreffend als «Elektromagnetische Ökologie» bezeichnet, wobei der heute gebräuchlichere Begriff der «Elektromagnetischen Kompatibilität» (EMC) als Unterbegriff im speziellen die Erarbeitung von Toleranzgrenzen und Mittel zu deren Einhaltung umfasst.

An erster Stelle stand das schon vor 4 Jahren aufgenommene Vorzugsthema: *Elektrisches Feld in der Nähe einer Hochspannungsleitung, Mess- und Berechnungsmethoden, Festlegung einer kritischen Feldstärke sowie deren Auswirkung auf den menschlichen Körper, Reduktionsmethoden.*

Berechnungs- und Messmethoden für die Bestimmung der Feldstärken unter einer Hochspannungsleitung haben sich in den vergangenen 4 Jahren weitgehend konsolidiert und ergeben im Rahmen der Streubandbreiten praktisch identische Resultate. Offen bleibt nach wie vor, welcher Einfluss den erhöhten Feldstärken in der Nähe und unter einer Höchstspannungsleitung (d. h. ab ca. 750 kV, Leitungen auf tieferem Spannungsniveau sind unkritisch) auf den Menschen zuzumessen sei. Interdisziplinäre Untersuchungen möglicher Effekte sind noch im Anfangsstadium und die vorliegenden Deutungen keineswegs schlüssig. In der Diskussion wurde angeregt, diese Arbeiten deshalb auf international geregelter Basis weiterzuführen, nicht zuletzt um sie aus der Zone ideologischer Polarisierung herauszuhalten.

Als zweites Vorzugsthema stand die *Beeinflussung von werkseigenen informationsverarbeitenden Anlagen durch werkseigene starkstromtechnische Einrichtungen, einschliesslich solche der Umrichtertechnik,* zur Diskussion. Diesen Phänomena der werksinternen Beeinflussung muss beim heutigen hohen Automatisierungsgrad erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Wirksame Gegenmassnahmen stellen sorgfältige Planung der Leitungsführung, lückenlose Abschirmung und, wo erforderlich, Einbau von Filtern in die Verbindungskabel der werkseigenen, datenverarbeitenden Systeme dar. Dazu gehört ebenfalls eine sorgfältige Auslegung des Erdungssystems sowie der Stromversorgung solcher Anlageteile. Auch heute noch ist in vielen Fällen die Frage offen, wie viele unabhängige Erdungsnetze in einer Grossanlage (Starkstrom-Schutz-Signalerde) aufzubauen, wo sie zu verbinden und an «Erde» zu legen seien, wo bzw. an wie vielen Punkten abgeschirmte Kabel an dieses Netz anzuschliessen seien. Diese Tatsache zeigt, wie wenig bis heute entscheidende Faktoren, wie z. B. die systematischen Einflüsse frequenzabhängiger Ausbreitungseigenschaften von Störimpulsen, Oberwellen, Einfluss von Reflexionen, Resonanzen usw., genauer untersucht sind und demnach auch nicht berücksichtigt werden können. Das hat auch dazu geführt, dass das Studienkomitee 36 eine neu ins Leben gerufene Arbeitsgruppe mit der Abklärung solcher Probleme betraut hat. Eine wesentliche Entschärfung der werksinternen Beeinflussungsprobleme erwartet man, wie aus der Diskussion hervorging, von der Einführung der lichtoptischen Datenübertragung über Glasfaserkabel im Werksbereich eines Kraft- oder Unterwerkes. Da es sich hiebei um ausgesprochene Kurzstrecken (Grössenordnung 50...500 m) handelt, scheint eine solche Technik, wenn auch heute noch nicht spruchreif, doch in den nächsten Jahren wohl realisierbar zu sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass elektromagnetische Beeinflussungen, ausgehend von Kraftwerks- und Unterwerkseinrichtungen sowie Hochspannungsleitungen, in ihrem Entstehungsmechanismus und ihrer Ausbreitung weitgehend erkannt, auch berechenbar sind und dass auch Schutzmassnahmen für Menschen und Material existieren. Das Schwergewicht liegt vielmehr darin, diese Massnahmen auch im Rahmen von noch zum Teil offenen Toleranzgrenzen in wirtschaftlicher Form in die Praxis umsetzen zu können. *A. de Quervain*