Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE)

Objekttyp: **Group**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 24

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE)

Sitzungen vom 21. bis 29. August 1974 in Paris

CE 11, Machines Tournantes

Unter dem Vorsitz von Prof. I. A. Glebov (USSR) tagte die Gruppe 11 am 23. August 1974 und das Studienkomitee am 26. August 1974.

Zu den drei Vorzugsthemen standen acht Berichte zur Diskussion. Der Spezialberichter, G. Ruelle (Frankreich), hat in seinem Spezialbericht 24 Fragen aufgeworfen.

1. Konstruktions- und Versuchsergebnisse von grossen Generatoren, Phasenschiebern und Erregungssystemen; Methoden der Betriebsüberwachung.

Die zu diesem Thema vorliegenden Berichte waren recht uneinheitlich und befassten sich mit Radialkühlung von Turbogeneratoren (11-03), mit Inbetriebnahmeergebnissen der 590 MVA Wasserkraftgeneratoren Krasnoyarsk (USSR) (11-04) und mit 250 MVA Phasenschiebern für Kanada (11-05). Die GT 11-02 gab einen Rechenschaftsbericht über mechanische Probleme von Schenkelpolmaschinen (11-06), der Empfehlungen zur mechanischen Materialausnützung enthält. Letzteren wurde sowohl zustimmend wie kritisch begegnet, ohne dass gangbare Gegenvorschläge unterbreitet wurden, die mechanische Güte verschiedener Konstruktionen vergleichbar zu machen.

Die genaue Vorausberechnung kritischer Drehzahlen erfordert ein grosses Mass an Erfahrung, da neben dem Ölfilm auch alle übrigen Tragkonstruktionen zur Elastizität beitragen und die kritische Drehzahl beeinflussen. Dass auch eine Schenkelpolmaschine mit einer kritischen Drehzahl 20 % unter der Nenndrehzahl ohne Schwierigkeiten betrieben werden kann, zeigen die nunmehr zehn Jahre Erfahrung mit der Anlage Zmutt (Schweiz).

2. Grenzen bei der Auslegung grosser Generatoren ohne radikale Veränderung am Grundkonzept. Neue technische Lösungen.

Zwei Berichte aus Grossbritannien (11-01) und Frankreich (11-08) beschreiben verschiedene einengende Hindernisse beim Bau grosser Einheitsleistungen.

Eine besonders enge Grenze ist beim Rotordurchmesser von 2poligen Generatoren wegen der Kappenringe gesetzt. Einige Diskussionsredner sprachen von Untersuchungen mit neuen Materialien für Kappenringe wie Titanium, Glasfiber, Kohlenstoffasern. Die Anwendung stösst jedoch bereits auf grosse Schwierigkeiten bei der Befestigung am Rotor.

Vibrationen und Kräften, die auf die Statorwicklung wirken, wird ein besonderes Augenmerk geschenkt.

An der Entwicklung supraleitender Rotoren wird gearbeitet. In diesem Zusammenhang werden Überlegungen angestellt, die Statorwicklung in den Luftspalt zu verlegen. Ein Redner erwähnte als Alternative zur Supraleitung auch den nutenlosen Rotor.

Mit der Probebestellung eines 247-t-Schmiedestückes, ausreichend für eine Leistung bis 2500 MVA, schiebt sich die Begrenzung infolge Schmiedekapazität weiter hinaus.

Eine erkennbare Verlangsamung, vereinzelt sogar vorübergehende Begrenzung, in der Entwicklung der Einheitsleistungen ist nach dem vorangegangenen starken Anstieg nicht verwunderlich. Die grössten für 50 Hz in Bau befindlichen Generatoren, 4polig 1670 MVA und 2polig 1182 MVA, werden mit Wasserkühlung der Rotorwicklung ausgerüstet.

Randbedingungen und Spezifikationen, die sich aus der Betriebsweise in der BRD ergeben (11-07), setzen dem Generator keine unüberwindlichen Schwierigkeiten.

Die Bedeutung grosser transienter Reaktanz X'_d auf die Stabilität unter Berücksichtigung moderner Regelsysteme findet unterschiedliche Bewertung. Uneinigkeit herrscht auch noch über den zulässigen Grenzwert der transienten Schieflast I^2_2t. Die genannten Werte reichen von 2,5 sec (UK) bis zum USA-Vorschlag für die amerikanischen Normen, der 10 sec bis 800 MVA vorsieht mit proportionaler Abnahme auf 5 sec bei 1600 MVA. Offensichtlich spielt die Güte der Dämpferwicklung eine wesentliche Rolle. Aus einigen Ländern, darunter der Schweiz, wird für den USA-Vorschlag plädiert.

Auf grosses Interesse stiess eine Erklärung über die Ursachen eines Kappenringbruches an einem wassergekühlten Turborotor infolge Spannungskorrosion und über die Massnahmen, die zum Schutz gegen solche korrosiven Einflüsse ergriffen werden.

3. Pump-Turbinen-Sätze in Pumpspeicherwerken

Der Bericht 11-02 beschäftigt sich mit dem Einfluss verschiedener Parameter auf den Start beim synchronen Frequenzanlauf mit Hilfe einer zweiten Synchronmaschine.

Die Diskussion zeigte, dass dieses Anlaufverfahren angewendet wird, dass aber auch die Zahl sonstiger Anlaufverfahren gross ist. Der 230-MVA-Motor-Generator, für den im obigen Bericht die Frequenzanlaufbedingungen berechnet wurden, ist mit Erfolg asynchron hochgefahren worden. Eine Drossel begrenzt den Spannungseinbruch im Netz auf 2,7 %. Ein weiteres Verfahren, eine Kombination Asynchron-/Synchronanlauf, hat sich im Betrieb gut bewährt. Reiner Frequenzanlauf mit Hilfe eines statischen Thyristor-Umrichters wurde kürzlich an einer 170-MVA-Maschine erfolgreich getestet. Aber auch der klassische Ponymotor wird noch projektiert. *R.-D. Kranz*

CE 12, Transformateurs

Unter dem Präsidium von H. Lutz (Schweiz), wurden folgende drei Hauptthemen nach dem Cigré-Rapport 12-00 besprochen:

1. Zukünftige Hochspannungs-Prüfverfahren einschliesslich Teilentladungs(TE)-Messung.
2. Statistische Methoden für die Beurteilung der Zuverlässigkeit von Transformatoren.
3. Probleme verbunden mit sehr grossen Transformatoren unter besonderer Berücksichtigung der Zusatzverluste, Spezialprüfungen und Transportfragen.

Zu 1.

Über die projektierte Einführung neuer Hochspannungsversuche bei Transformatoren lässt sich aus den breiten Diskussionen folgendes sagen:

Ziemliche Einigkeit herrschte bezüglich der Forderung nach Einfacheit und Klarheit der Versuche, besonders im Hinblick auf die vorgesehenen TE-Messungen. Die «Ein-Klemmenmessung» am Hochspannungseingang kommt dieser Forderung am nächsten, die «Mehr-Klemmenmessung» ist hauptsächlich dann zweckmässig, wenn es um die Ortung einer aufgetretenen TE geht.

An zahlreichen Beispielen zeigte sich, dass die Auffindung der reellen TE nach Ort und Grösse nach wie vor ein sehr komplexes Problem bleibt (Unterschiede von 1 : 10 wurden bei «Ein-Klemmenmessung» und solche von 1 : 2 bei «Mehr-Klemmenmessung» nachgewiesen). Demzufolge kann auch die Expertenmeinung in diesem Gebiet nicht auf einen Nenner gebracht werden. Bei Autotransformatoren sind die Verhältnisse noch schwieriger, wodurch hier der «Mehr-Klemmenmessung» (Hochvolt-, Mittelvolt- und Sternpunktsklemme) ein allgemeiner Vorrang erteilt wurde.

Im Hinblick auf die Frequenz fanden «Breitbandmethoden» weitgehenden Vorzug, nachdem mit «Schmalbandmethoden» sehr grosse Fehler möglich sind.

Vor Rückschlüssen aus vereinfachten Modellen wurde mehrfach gewarnt, da Transformatoren eben wesentlich kompliziertere Gebilde sind. Ebenso erfolgten Einwände in bezug auf die Zuverlässigkeit der empfohlenen Vergleichs-Rechenmethode nach Elektra (12-01), obwohl andererseits auf eine Genauigkeit von 15–30 % hingewiesen wurde.

Zur Frage, ab welcher Höhe TE-Messwerte gefährlich werden, ergab die Meinung der Spezialisten, dass 100 pC gefährlicher als 1000 pC sein können; es kommt also nicht nur auf die Grösse, sondern auch auf den Ort und die Art der TE an. Im allgemeinen sind hochvoltseitig gemessene TE-Werte kritischer als niederspannungsseitige, selbst wenn letztere bedeutend höher liegen. In Wiederholung zu früheren Diskussionen wurde erneut

aufmerksam gemacht, dass die Verhältnisse gemessener (μV : pC)-Werte im Bereich von (0,2 – 5,0) schwanken können.

Die Ortung einer auftretenden TE soll hier nur in Kurzfassung wiedergegeben werden, obwohl es darüber sehr interessante Detailberichte gab:

– Die «Profil-Vergleichs-Methode» ist die einfachste und eignet sich gut, wenn die TE-Quelle in Klemmennähe liegt.
– Die «Matrix-Methode» ist viel komplizierter und für den allgemeinen Gebrauch vielleicht etwas zu fein.
– Die Studie der Form und Polarität der TE gibt manchmal nützliche Aufschlüsse.
– Die akustische Ultraschallmethode in Verbindung mit Magnetbandspeicher und Mini-Computer dient zur selektiven Auswahl der diskontinuierlichen TE-Impulse aus dem allgemeinen Geräuschspektrum; damit ist eine geometrische TE-Ortung ausserhalb des Kessels mittels magnetischer Anlegeverstärker möglich. Für Shelltype-Transformatoren ist diese Methode nur bedingt geeignet.

Auch künftig wird es mannigfaltiger Entwicklungen bedürfen, um den komplizierten Mechanismus der TE, ihrer Weiterleitung und Dämpfung noch tiefer zu ergründen sowie die Mess- und Eichverfahren zu verbessern.

Die Wahl der Prüfschaltung (aus 3 Einphasen-Schaltschemen gemäss Rapport 12-00, Cigré 1974, Punkt 2) für die neue induzierte Wechselspannungsprüfung sollte nach überwiegender Meinung so erfolgen, dass die Prüfspannung zwischen den Phasen gegenüber früher nicht vergrössert wird.

Das Schaltschema 1 mit zwei geerdeten Nachbarphasen wurde von einigen Experten begrüsst; der Sternpunkt wird dabei allerdings auf ein Drittel der Prüfspannung angehoben.
– Das Schaltschema 2 mit geerdetem Sternpunkt und gegenpoligen, halb so grossen Spannungen auf den beiden Nachbarphasen wurde besonders empfohlen; es ergibt sich zwischen (Phase–Phase) und (Phase–Erde) ein Verhältniswert der Spannungen von 1,5, was für die Isolationserprobung als ausreichend empfunden wurde.
– Das Schaltschema 3 fand wenig Anklang, weil die gleich hohen gegenpoligen Spannungen zweier Phasen bei gleichzeitigem Kurzschluss der dritten Phase erneut betriebsfremd wären.

Es wurde auch der Vorschlag einer Dreiphasenprüfung gemacht, welche natürlich den späteren Betriebsbedingungen des Transformators am nächsten käme.

Die neu vorgeschlagenen Prüfspannungshöhen variierten zwischen der (1,2–1,5)-fachen Phasenspannung während 30 Min bei Limitierung der TE-Amplituden im Bereich von (100–500) pC oder μV. Dieser 30minütigen Dauerprüfung sollte eine (5–10) sek-Kurzzeitprüfung mit erhöhtem Pegelwert ohne Zwischenpause vorausgehen; während des ganzen Prüfvorganges wäre die Stabilität der TE genau zu beobachten. Im Falle einer Überschreitung der festgelegten Limite müsste die Prüfung mit gleicher Spannungshöhe, aber eventuell verlängerter Prüfzeit wiederholt werden; die Stabilität wäre weiterhin kritisch zu verfolgen, und ausserdem sollte eine Ortung der TE stattfinden.

Die neuen Prüfungen sollen für Nennspannungen $\geqq$ 245 kV eingeführt werden, es erfolgte auch ein Vorschlag ab 150 kV. Die heutige Prüfmethode ist betriebsfremd, aber vor allem können bei der relativ hohen Wechselspannungsprüfung unerkannte Vorschädigungen in der Isolation auftreten. Die neue Methode scheint harmloser zu sein, setzt aber TE-Werte innerhalb der vorzuschreibenden Limite voraus.

Diesbezüglich gab es nun folgende Einwände der Transformatorenbenutzer:

– Die Reduzierung der Prüfpegelwerte soll nicht zu gross sein.
– Es liegen noch keine definitiven Erfahrungen vor zwischen den festzulegenden TE-Grenzwerten bei (1,2–1,5)facher Phasenspannung und der Betriebssicherheit.
– Die Messungen selbst sind komplizierter und aufwendiger.
– Die ökonomischen Auswirkungen der Prüfpegelreduktionen auf die Transformatoren sind bis heute nicht offenkundig.

Aus diesen Einwänden resultierte unmittelbar der Vorschlag, die heutige Prüfmethode durch die neue möglichst vorsichtig und kontinuierlich zu ersetzen. Beispielsweise könnte die heutige Methode zunächst als Typenprüfung belassen werden und daneben die neue Prüfung individuell Anwendung finden. Es gab auch Vorschläge über einen etappenweisen Abbau der heutigen Pegelwerte bei entsprechender Prüfzeitverlängerung.

Die Schärfe der Stosspannungsprüfung mit abgeschnittenen Wellen hängt einerseits von der Transformatorart und andererseits von drei Parametern ab, welche allerdings auch eine gegenseitige Abhängigkeit aufweisen:

– Augenblick des Abschneidens
– Steilheit der Abschneidung
– Amplitude der Unterschwingung

Die Wahl dieser Parameter sollte so erfolgen können, dass sich ein ziemlich optimales Verhältnis zwischen Abschneidesteilheit und Amplitude der Unterschwingung individuell für jeden einzelnen Transformator ergibt.

Besonders kritisch sind wiederum Autotransformatoren und speziell ihre Regelwicklungen, auf deren Differenzspannungen die Abschneidesteilheit starken Einfluss nimmt; sie sollte also variierbar sein.

Das Unterschwingen wäre streng zu begrenzen (z. B. auf 0,3 der Stoßspannung). Die Abschneidesteilheit und die Amplitude des Unterschwingens sind konträre Funktionen, was bei wünschenswerter Definition berücksichtigt werden müsste. Bei SF6 sind die betriebsmässig möglichen Abschneidesteilheiten grösser als in Luft.

Zu 2.

Für die Anwendung statistischer Methoden zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von Transformatoren sind genaue internationale Definitionen die wichtigste Voraussetzung. Es wurde vorgeschlagen, eine Arbeitsgruppe zu bilden, um diesbezüglich eine präzise Basis zu schaffen.

Die bisherigen Ergebnisse sind zu wenig repräsentativ und zahlenmässig zu gering, um daraus Schlüsse ziehen zu können. Es scheint, dass die Ausfälle kaum eine Funktion der Spannungshöhe, wohl aber eine der Leistungsgrösse sind.

Vorwiegend traten bei sehr grossen Leistungen Unterspannungsdefekte auf, so dass also keine Spannungsabhängigkeit besteht.

Es ist sehr wichtig, dass bei einheitlichen Definitionen die Erfahrungen möglichst vieler Betreiber zusammengelegt werden, da sonst Fehler in der Grössenordnung von 1 : 10 auftreten können. Praktische Erfahrungen sind hier das beste Laboratorium! Um Wartungsfehler zu begrenzen, sollten Zusatzgeräte zur Verwendung gelangen (Anregung an die Cigré).

Bei hohen Systemspannungen ist zu berücksichtigen, dass das Verhältnis der Prüfspannung zur Betriebsspannung immer kleiner wird und die Isolation nach einigen Betriebsjahren eben nicht mehr neu ist. Auch zu rasche Aufheizungen können die elektrischen Eigenschaften und die Lebensdauer herabsetzen.

Zu 3.

Probleme verbunden mit sehr grossen Transformatoren. Die Steigerung der Nominalleistung der Blocktransformatoren ist eine Funktion der zunehmenden Generatoren- bzw. Kraftwerksleistungen. Ein Ansteigen auf 1500 MVA pro Einheit ist zu erwarten. Autotransformatoren zur Netzkupplung hängen leistungsmässig auch von den Systemspannungen ab. Ein Teil der Fachleute prognostiziert 3000 MVA, ein anderer dagegen nur 1000 MVA bei 400 kV. Die Grenzen des Wachstums liegen in mechanischen, elektrischen und thermischen Problemen unter Berücksichtigung der Alterung und Betriebssicherheit. Letztere kann heute auch bei Grenzleistungstransformatoren als gut bezeichnet werden, lediglich die Regelung bringt mehr Schwierigkeiten als bei normalen Transformatoren. Es erhebt sich daher die Frage, wie weit man in solchen Grenztypen überhaupt eine Regulierung braucht.

Bei Blocktransformatoren kann sie, wenn auch weniger wirksam, in die Generatoren verlegt werden; bei Autotransformatoren sind getrennte Steuertransformatoren jedenfalls die bessere Lösung. Im Hinblick auf die Sicherheit geht bei Grenzleistungen der Trend ausserdem mehr in Richtung auf Einphaseneinheiten, denn hier sind alle Probleme ungleich leichter zu lösen, speziell auch die Frage der Reservehaltung.

Transformatoren sind das kleinste Glied bei einem Kernkraftwerk (ca. 1 % Kostenanteil), aber von ihrer Sicherheit hängt die Einsatzbereitschaft des gesamten Werkes ab. In diesem Zusammenhang ist auch die Sicherheit der Reservetransformatoren besonders im Auge zu behalten, sie ist ebenso wichtig wie die Überwachung der im Betrieb stehenden Einheiten. Ein unbelaste-

tes Parallellaufen der Reservetransformatoren erhöht zwar einerseits ihre Einsatzbereitschaft, verursacht aber andererseits laufende Kosten.

Die ständige Überwachung des Gütegrades der Isolation und der Feuchtigkeit des Öles ist bei Reserveeinheiten nicht ausreichend. Eine viel bessere Kontrolle gäbe die periodische Untersuchung von Isolierproben aus Papier, welche im Kesselinneren direkt mit dem Transformatorenöl imprägniert wären; besonders wichtig würde natürlich eine solche Kontrolle vor dem Zuschalten eines Reservetransformators sein; routinemässig sollten daneben auch die dielektrischen Verluste und die TE nachgeprüft werden.

Die Berechnung und die messtechnische Erfassung des «hot spot» fordern noch zahlreiche Studien. In diesem Zusammenhang wird es auch über die Kühlung mit gerichteter Ölströmung (OD) in der Wicklung weitere Diskussionen geben.

Erwärmungsläufe gemäss CEI-Publikation 76 mit minimal 0,9 der Nominalleistung wurden zum Teil als unbefriedigend empfunden; es sollten auch Überlastproben gemacht werden. Die Frage von zusätzlichen Sonderprüfungen bei Grenzleistungstransformatoren wird eventuell einer Arbeitsgruppe übertragen.

Zur Transportfrage sehr grosser Transformatoren wurde festgestellt, dass auf der Bahn 500 t und auf der Strasse in Verbindung mit Flusswegen 800 t Nutzlast möglich sind. Die spezifischen Transportkosten steigen bei einem Anstieg des Transportgewichtes von 300 t auf 600 t um ca. 30 %. Im Winter sind Grenzgewichtstransporte wegen des gefrorenen Bodens teils günstiger.

Schlusswort:

Zusammenfassend kann man wohl sagen, dass trotz der äusserst komprimierten Zeit sehr interessante und aufschlussreiche Berichte vorgelegt wurden, welche sicherlich dazu beitragen, den komplizierten Fragenkomplex wieder einen Schritt voranzutreiben.

H. Lutz, welcher nun nach jahrelanger Tätigkeit als Präsident zurücktritt, hat es ausgezeichnet verstanden, die Diskussionen anzuregen und die Meinungsunterschiede in einer wirklich demokratischen Form zu koordinieren. Für diese erfolgreiche Arbeit gebührt ihm Dank und Anerkennung. *J. Kreuzer*

CE 13, Appareillage de coupure

1. Problèmes posés par les tensions transitoires lors d'une manœuvre de fermeture ou de coupure

1.1 Forme globale et forme initiale de la TTRI

Le groupe de travail 13-01 étudie la forme complète de l'onde de TTR. La TTRI doit être prise en considération pour les pouvoirs de coupures élevés.

La définition donnée par le CEI n'est pas suffisamment représentative et la TTRI est fortement influencée par le schéma et la configuration géométrique du poste.

Le groupe de travail poursuit ses travaux en étudiant notamment l'influence des circuits bouchons, les cas critiques, les réactions entre TTRI et TTR, les combinaisons entre TTRI et onde de défaut en ligne.

Les paramètres définissant la TTRI sont suffisamment connus et les mesures en réseau ont confirmé les calculs, toutefois, il serait utile de définir également les circuits afin d'obtenir des résultats reproductibles.

L'enveloppe des TTRI donnée dans le rapport 13-08 est un compromis qui couvre 95 % des cas.

Il y a effectivement une failbe probabilité pour que les conditions les plus défavorables soient simultanément remplies, tel qu'un défaut triphasé isolé, le facteur de phase est généralement inférieur à 1,3 et des mesures en réseau ont donné des valeurs de crête de tension inférieures à celles prévues par le CEI pour un facteur de phase 1,5. Il faut cependant noter que 1,5 peut se rencontrer dans le cas par exemple où les neutres de tous les transformateurs ne sont pas tous mis à la terre.

Les difficultés pour simuler la TTRI sont déjà résolues en grande partie par certaines stations d'essais.

La proposition d'utiliser le défaut en ligne pour définir la TTRI sans spécifier un trop grand nombre de paramètres pourrait représenter un compromis valable à condition de normaliser les éléments du circuit aval et d'adapter les caractéristiques nominales et la procédure d'essai. Cependant, cela ne correspond pas exactement aux conditions de réseau, les phénomènes considérés se produisant avec des valeurs de durée et d'amplitude très différentes. En outre, il ne serait pas logique de placer une capacité localisée aux bornes du disjoncteur.

En principe, tous les disjoncteurs sont influencés par la TTRI et des essais de laboratoire ont montré qu'une variation de 5 % sur la pente initiale et de 3 % après 10prs suffirait à modifier le comportement d'un disjoncteur à air comprimé. L'influence peut se produire après un temps plus ou moins long, lorsqu'il y a par exemple de faibles courants post are. Les disjoncteurs à huile peuvent généralement supporter des valeurs plus élevées notamment lorsqu'il y a plusieurs chambres de coupure en série.

Les paramètres utilisés dans le rapport 13-08 pour comparer le comportement des différents types de disjoncteurs sont donnés à titre indicatif et pourraient être remplacés par d'autres paramètres.

Il n'est pas possible de donner une relation entre la pointe d'extinction et la TTRI. Certaines défaillances se sont produites avec des valeurs inférieures au double de la crête de la pointe d'extinction.

Il n'y a pas une liaison précise entre la pente de la TTR et l'augmentation du courant de défaut. Si les caractéristiques de la TTR deviennent trop élevées, il faut essayer de trouver un optimum technico-économique pour les disjoncteurs: limitation du courant de court-circuit, réduction de la TTR, distinction entre les disjoncteurs de générateurs et de transformateurs.

Pour comparer les essais sur une chambre de coupure et sur un pôle complet, la méthode des durées d'arc minimales et celle des probabilités de défaillance peuvent être utilisées. Les avis sont partagés sur les conclusions: la répartition dynamique peut être différente de la répartition statistique, mais il semble qu'une répartition capacitive correcte donne de bons résultats.

1.2 Surtensions de manœuvre dans les réseaux à haute, très haute et ultrahaute tension

Aucun rapport n'a été présenté, mais des communications ont été faites en liaison avec les travaux du Comité 33.

En ce qui concerne les lignes à compensation série, il faut surtout considérer les surtensions dûes à l'élimination des défauts polyphasés à la terre. C'est ce qu'ont montré notamment les essais sur le réseau brésilien 750 KV. Il apparaît que pour 420 KV, comme sur le réseau suédois les surtensions restent à un niveau acceptable sans prévoire de résistances sur les disjoncteurs. La probabilité d'un défaut polyphasé à la terre sur des réseaux de tension supérieure à 420 KV est très faible et les résistances d'amortissement sur le disjoncteur ne sont pas la solution la plus économique, on peut utiliser des schémas à double éclateur, des parafoudres à bas seuil d'amorçage, l'insertion automatique d'une réactance sur la ligne au moment de la perte de charge.

En ce qui concerne la coupure des petits courants inductifs, des essais ont été effectués au Royaume Uni pour déterminer l'influence du circuit au voisinage du disjoncteur sur l'arrachement du courant. Le cas le plus défavorable correspond à une capacité séparée de l'interrupteur par une inductance et cela pourrait permettre de représenter les conditions en réseau.

2. Phénomènes accompagnant le passage par zéro du courant et leurs relations avec les essais synthétiques

Les études poursuivies depuis l'impression du rapport 13-07 ont confirmé les résultats obtenus. Les équations d'arc sont très utiles si les paramètres sont déterminés expérimentalement. Le modèle de Mayr est utilisé avec une bonne expérience pour l'air comprimé et quelques résultats sont disponibles avec le SF_6. Il est cependant nécessaire de continuer les essais pour déterminer la constante de temps de l'arc pour le SF_6.

Les essais synthétiques sont valables pour le SF_6 si on contrôle rigoureusement les paramètres, notamment la fréquence et l'instant d'injection HT.

La tension d'arc dépend beaucoup de la construction de la chambre de coupure. Pour les disjoncteurs à huile, le circuit

d'injection de tension donne les mêmes résultats que le circuit d'injection de courant.

On peut considérer l'essai en deux parties comme équivalent à un essai à puissance nominale, mais si les temps sont insuffisants il faudrait utiliser le circuit de Skeats.

Lorsqu'on utilise des dispositions à circuits multiples, il faut éviter les interférences. Dans la disposition à 3 circuits, la capacité C_1 est choisie en fonction du disjoncteur et le transformateur remplacé par un condensateur.

Les disjoncteurs équipés de résistances de grande valeur ohmique peuvent être essayés sur la disposition à 3 circuits. La résistance du disjoncteur peut être branchée dans le circuit d'essai, mais cette simplification peut présenter des inconvénients.

3. Fiabilité des disjoncteurs

Le groupe de travail 13-06 a mis au point un questionnaire simplifié qui a été envoyé à 35 pays. Les réponses qui devraient être établies par accord entre constructeurs et utilisateurs sont dépouillées par l'ENEL, mais il n'y a pas encore de résultats pour 1973.

Il semble qu'une population de 1000 disjoncteurs permette d'obtenir des résultats très valables.

Les conditions d'exploitation sont de première importance pour tirer des conclusions et mettre au point des essais représentatifs.

La plupart des défaillances sont d'origine mécanique et la distinction entre les types (huile, SF_6, air comprimé) n'est pas indispensable; toutefois, elle pourra être faite ultérieurement si nécessaire.

La frontière entre les défaillances mineures et les défaillances majeures n'est pas toujours bien définie. Certaines défaillances mineurs peuvent dégénérer en défaillances majeures mais ce n'est pas un cas général. D'autre part, il semblerait logique d'associer les défaillances majeures au nombre d'appareils concernés.

Les essais proposés dans le rapport 13-06 ne permettent pas d'augmenter la fiabilité mais de juger la conception et la construction des disjoncteurs. Ils ont permis de mieux adapter les appareils aux besoins de l'exploitant et constitue une bonne approche du disjoncteur sans entretien. Depuis la rédaction du rapport, ce programme a été appliqué avec succès aux disjoncteurs 420 KV. Les essais ont montré également, que dans certains cas la conception elle-même pouvait être en cause. Il faut noter qu'au Japon, des essais mécaniques de fiabilité analogues sont en usage depuis plusieurs années et que le nombre de défaillances a notablement diminué depuis leur introduction. Aux Etats-Unis un cycle d'endurance électrique dans des conditions climatiques variables a été mis au point pour reproduire au mieux les conditions d'exploitation.

Cependant comme indiqué dans le rapport 13-05, l'augmentation des essais de type ne conduit pas obligatoirement à un accroissement de la fiabilité, compte tenu des essais de contrôle effectués sur les composants. D'ailleurs, même pour un nouveau type de disjoncteurs, la plupart des composants sont déjà bien connus et bénéficient d'une longue expérience sur d'autres types. Il est par contre nécessaire de contrôler soigneusement la fabrication de série pour maintenir le niveau de qualité. D'après certaines statistiques d'exploitation, la sévérité des essais proposés serait 20 fois supérieure à celle dûe aux contraintes d'exploitation et un compromis satisfaisant pourrait être obtenu en augmentant l'endurance mécanique de 1000 à 2000 manœuvres, etc. prévoyant une endurance électrique équivalente à 5 fois le pouvoir de coupure et en ajoutant des essais de routine spéciaux pour certains composants.

L'évolution de la technique conduit normalement à une augmentation de la fiabilité et les disjoncteurs au SF_6 sont pratiquement sans entretien, sans augmentation du nombre des essais.

Il semble enfin que la fiabilité du disjoncteur ne doive pas être considérée isolément mais dans le contexte du poste et que l'optimal technico-économique ne soit pas encore correctement défini. L'entretien n'est pas toujours contraignant et son prix doit être comparé à celui de l'investissement. En outre, tous les disjoncteurs n'ont pas à subir les mêmes contraintes et les conséquences d'une défaillance peuvent être d'importance très différente. C'est pourquoi les propositions devraient tenir compte non seulement des disjoncteurs de réseaux, mais aussi des disjoncteurs de centrales.

En conclusion, le Groupe de Travail G doit continuer ses investigations, compte tenu des résultats de l'enquête internationale sur les défaillances et des propositions d'essais qui lui seront soumises.

R. Engeldinger

CE 14, Matériel de Conversion Alternatif-Continu

Die vom Special Reporter formulierten und in der Sitzung in zahlreichen Beiträgen diskutierten Fragen gliedern sich in fünf Gruppen.

1. Betriebserfahrungen in bestehenden Anlagen
2. Im Bau befindliche und geplante Anlagen
3. Konstruktion und Bau von Kopfstationen
4. Konstruktion und Prüfung von Ventilen
5. Mehrpunktsysteme

Zu 1.

Seit der Inbetriebnahme der ersten Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlage (HGUe) im Jahre 1954 (Seekabelübertragung Schweden–Gotland, 20 MW) hat sich die Zahl der in Betrieb befindlichen Anlagen auf 11 und die installierte HGUe-Leistung auf ca. 5,2 GW erhöht. Das Betriebsverhalten der Quecksilberdampfventile wurde durch konstruktive und technologische Massnahmen der Ventillieferanten weiter verbessert. Die Verfügbarkeit der Anlagen stieg von 81 % im Jahre 1968 auf 91 % im Jahre 1972. Nach der Inbetriebnahme der ersten Stromrichterbrücke mit Thyristorventilen im Rahmen einer Erweiterung der Gotland-Anlage im Jahre 1970 wurde 1972 eine zweite Anlage mit Thyristorventilen (Übertragungsleistung 320 MW) in Betrieb genommen, deren Verfügbarkeit 99,69 % erreichte. Die guten Betriebserfahrungen mit Thyristorventilen bestätigten die Erwartungen. Die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von HGUe-Anlagen entspricht nun der von Drehstromübertragungen. Die schnelle Regelbarkeit der HGUe wird vermehrt zur Stabilitätsstützung von Drehstromnetzen ausgenutzt.

Zu 2.

Zu der noch in der Inbetriebnahmephase befindlichen Anlage Kingsnorth bei London und der Erweiterung der bestehenden Anlage Nelson River in Kanada sind fünf weitere Grossanlagen im Bau bzw. fest in Auftrag gegeben. Damit wird sich die installierte HGUe-Leistung bis 1979 auf ca. 12 GW erhöhen, wobei der weitaus grösste Teil dieser Anlagen mit Thyristorventilen bestückt wird. Untersuchungen über eine weitere Seekabelübertragung England–Frankreich bis zu einer Leistung von 6 GW sind im Gang. Bei gleichen Investitionskosten wird eine HGUe-Lösung bevorzugt.

Zu 3.

Der Flächenbedarf der HGUe-Kopfstationen wird vor allem durch die Drehstromfilterkreise und weniger durch die Stromrichtergruppen beeinflusst, bei denen durch die Einführung der Thyristortechnik der Grundflächenbedarf bereits wesentlich reduziert werden konnte. Die Entwicklung von Kompaktstationen unter Verwendung von SF_6 ist im Gang, um den Grundflächenbedarf von HGUe-Stationen auf einen Bruchteil des jetzigen Bedarfs zu verringern, da die Anwendung der HGUe zur Einspeisung von Kraftwerksleistung in Ballungszentren an Bedeutung gewinnt.

Zu 4.

Die Stromrichterventile sind die wichtigste Komponente der HGUe-Stationen. Thyristorventile verschiedener Konstruktion und Kühlart für Freiluft- und Innenraumaufstellung sind verfügbar. Die Entwicklung ist jedoch noch keineswegs abgeschlossen. Prototypventile wurden und werden teils in bestehenden Anlagen, teils in speziellen Versuchsstationen geprüft. Die Diskussion über den notwendigen Umfang von Prüfungen für komplette Ventile und Ventilbausteine sowie die dazu erforderlichen Prüfschaltungen müssen noch weitergeführt werden mit dem Ziel, mit vertretbarem Aufwand vor allem die bei Fehlerfällen auftretenden Beanspruchungen durch kombinierte Prüfungen abzusichern.

Zu 5.

HGUe-Mehrpunktsysteme sind seit einiger Zeit Gegenstand von umfangreichen theoretischen Arbeiten und Modelluntersuchungen. Der derzeitige Stand der Technik ist in einem ausführlichen internationalen Bericht 14-08 dargelegt. Die Voraussetzungen für eine praktische Realisierung einschliesslich der notwendigen Gleichstromschalter sind gegeben. Das HGUe-System Nelson River in Kanada, das im Zug des weiteren Ausbaues zwei Sende- und Empfangsstationen sowie zwei Übertragungsleitungen umfasst, besitzt bereits wesentliche Merkmale eines Mehrpunktsystems. In einem Diskussionsbeitrag aus Kanada wurde ein transkanadisches HGUe-Mehrpunktsystem mit Ost–West- und Nord–Süd-Verbindungen skizziert.

Die Sitzung war gut besucht und zeigte das zunehmende Interesse an der HGUe als ein modernes Mittel zur elektrischen Energieübertragung. *K. Roth*

CE 15, Matériaux Isolants

Drei Hauptthemen standen zur Diskussion, über deren Verlauf in der Reihenfolge der abgehandelten Themen nachfolgend berichtet werden soll.

Analyse von in Isolieröl gelösten Gasen zwecks Feststellung beginnender Fehler

Obwohl zu diesem Thema kein Report vorlag, rechtfertigte die stattliche Zahl von 15 Diskussionsbeiträgen den Entschluss, dieses bereits vor zwei Jahren behandelte Gebiet nochmals auf die Tagesordnung zu setzen. Der Verlauf der Diskussion liess klar erkennen, dass die Analyse der im Transformator gebildeten Gase sich zu einem Hilfsmittel entwickelt hat, das nicht nur für die Diagnose vermuteter Fehler, sondern heute auf breitester Basis zur Überwachung im Betrieb befindlicher Leistungstransformatoren angewendet wird.

Einigkeit bestand darin, dass die derzeit bekannten Auswertungsmethoden in den meisten Anwendungsfällen zu schlüssigen, durch andere Messungen oder Untersuchungen nach Demontage bestätigten Aussagen führen, wobei sich die Mehrheit der Diskussionsredner für die Anwendung eines quantitativen Auswertungsverfahrens in der Art der von Dörnenburg oder Rogers vorgeschlagenen «Quotientenmethode» aussprachen.

Bezüglich der Probennahmetechnik wurde das Bestreben sichtbar, mit einfacheren und daher billigeren Gerätschaften auszukommen, wobei jedoch anerkannt wurde, dass eine Probenentnahme mit Geräten, die einen Gasaustausch mit der Atmosphäre weitgehend verhindern (z. B. Spritzen), die sicherste Methode darstellt.

Eine gewisse Unsicherheit zeigte sich bei der Frage, von welchen Gasgehalten an ein Transformator als nicht mehr «normal» arbeitend anzusehen sei. Hier gelten zurzeit noch entsprechend den Erfahrungen der Anwender dieser Methode intern festgelegte Normen, wobei übereinstimmend erkannt wurde, dass hier die Verfolgung der Gasproduktion durch in mehr oder weniger dichter Reihenfolge durchgeführte Analysen weiterhelfen kann. Mit einer statistischen Auswertung der bisher diesbezüglich erhaltenen Ergebnisse wurde eine «task force group» der Arbeitsgruppe 15.01 bereits beauftragt.

Dass die Analyse von Zersetzungsgasen nicht auf Transformatoren beschränkt bleiben wird, zeigten Beiträge, in denen interessante Ansätze für die Anwendung auf Ölkabel, Durchführungen, ja sogar auf das Hydrauliköl von Leistungsschaltern gegeben wurden.

Der während der letzten zwei Jahre erreichte Fortschritt wird vielleicht daraus am besten ersichtlich, dass jeder der gegebenen Beiträge mithalf, ein getreues Abbild des heutigen Standes mit all seinen Grenzen zu entwerfen, ohne dass irgendwann ernstzunehmende Kontroversen aufgetreten wären.

Hochspannungsisolation für die Anwendung bei tiefen Temperaturen

Zu diesem Thema lagen drei Berichte vor, die in acht Diskussionsbeiträgen kommentiert wurden.

Es kam zum Ausdruck, dass bezüglich des Isolationsaufbaus von Kryokabeln im Grunde genommen die gleichen Prinzipien gelten wie bei herkömmlichen Kabeln, d. h. die Isolation muss geringe Verluste, hohe elektrische Festigkeit, niedrige Dielektrizitätszahl, einen nicht zu hohen Oberflächenwiderstand und möglichst poröse Struktur aufweisen, um gute Imprägnierfähigkeit zu gewährleisten. Grosser Wert wird dem thermisch-mechanischen Verhalten beigemessen, da die Festisolation wegen ihrem gegenüber dem Leitermaterial unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten starken mechanischen Beanspruchungen bei Temperaturzyklen ausgesetzt ist.

Dass auch bei tiefen Temperaturen Teilentladungen vermieden werden müssen, liegt auf der Hand. Interessant ist, dass sich kondensierte Gase in ihrem elektrischen Verhalten keinesfalls wie Flüssigkeiten benehmen. In ihnen wird der gleiche Entladungstyp wirksam, wie er in der Gasphase angetroffen wird. Kondensierte Gase sind also in dieser Hinsicht als Gase hoher Dichte zu betrachten.

Ob sich dereinst das Kryo-Kabel oder das supraleitende Kabel durchsetzen wird, ist zurzeit noch völlig offen. Übereinstimmend räumt man dem supraleitenden Kabel wegen seiner wesentlich grösseren Wirtschaftlichkeit die grösseren Chancen ein, sofern die noch bestehenden technischen Probleme gelöst werden können.

Beschleunigte Alterungsprüfung fester Isolierstoffe unter elektrischer Beanspruchung

Die Diskussion, an der sich 15 Redner aus acht Ländern beteiligten, war speziell dem Phänomen des «Treeing» gewidmet. Die Problematik, die mit allen zeitlich stark gerafften Kurzzeittests verbunden ist, wurde auch hier wieder offenbar, da nie gesichert ist, dass Kurz- und Langzeitalterung phänomenologisch gleichartig verlaufen. Gegen die Meinung von Vertretern, die gute Korrelation zwischen Kurzzeit- und Langzeitverhalten festgestellt haben, scheint sich jedoch die Meinung durchzusetzen, dass gesicherte Aussagen über das tatsächliche Betriebsverhalten von Isolierstoffen nur aus Langzeitprüfungen zu erhalten sind, die, sofern die Isolierstoffe in Freiluft eingesetzt werden sollen, auch unter Freiluftbedingungen durchgeführt werden müssen.

Beispiele für die erfolgreiche Anwendung von Cycloaliphatischen Giessharzen wie auch von Systemen aus glasfaserverstärkten Rohren mit aufgesetzten, mit PTFE überzogenen Tellern aus Epoxidharzen sowie von EP-Harzen allein bei der Herstellung von Stützern und Isolatorketten für Freiluftleitungen wurden gegeben.

Was den Mechanismus der «Treeing-Bildung» selbst betrifft, kam einhellig die Meinung zum Ausdruck, dass Hohlräume dafür verantwortlich zu machen sind. Für gute Bindung zwischen Harz und Füllstoff wie auch zwischen Harz und spannungsführenden Armaturen muss gesorgt werden, wobei im Fall von Giessharzen speziell auf mögliche Einflüsse der Aushärtungsbedingungen hingewiesen wurde.

Diese Überlegungen gelten auch für PE-isolierte Kabel, wobei hier noch eintretende Feuchtigkeit eine grosse Rolle zu spielen scheint. Vernetztes Polyäthylen hat sich gegenüber unvernetztem als etwas widerstandsfähiger erwiesen. Darüber hinaus scheint es möglich zu sein, die Neigung zum «Treeing» durch geeignete Zusätze oder Füllstoffe zu vermindern, vorausgesetzt, dass letztere gute Bindung mit dem PE aufweisen. *J. Schober*

CE 21, Câbles isolés à haute tension

La session de ce groupe a eu lieu le 29 août 1974 à Paris dans le cadre de la réunion générale de la CIGRE.

Sans entrer dans les détails, on peut résumer les 13 rapports présentés et la discussion qu'ils ont suscitée en dégageant comme suit l'état actuel de l'expérience acquise.

1. Câbles sous-marins à courant continu

Le continu est préféré à l'alternatif dès que la liaison dépasse 60 km. Les câbles au papier imprégné de masse et préimprégné à gaz montrent un comportement satisfaisant et sont introduits pour cet usage. Le câble à huile est restreint aux liaisons courtes. Le polyéthylène est encore au stade des essais. La tension maximale plafonne autour de 250 à 300 kV. Le gros problème est l'endommagement des câbles par les ancres de navire et surtout

par les engins de pêche; vu le coût des réparations et l'efficacité relative des armures même très renforcées, on s'oriente souvent vers l'enfouissement des câbles grâce à des charrues sous-marines très sophistiquées.

2. Câbles à isolation synthétique

Le polyéthylène (basse densité) est utilisé de plus en plus jusqu'à 225 kV; les quelques 8 km de câble à cette dernière tension installés en France n'ont pas eu de défaillances. Le polyéthylène réticulé est en progrès: on signale quelques installations à des tensions de 110 à 145 kV.

De nombreux orateurs font état des arborescences constatées lorsque de l'humidité peut pénétrer l'isolant. Les Américains, qui étudient ce phénomène avec beaucoup d'ardeur, l'ont baptisé «water treing». Si l'on n'est pas en terrain sec, une gaine d'étanchéité – pouvant également résister aux dilatations de l'isolant – paraît de plus en plus nécessaire; en France où une partie des câbles PE 60 kV et tous les câbles PE de tension plus élevée comportent une gaine de plomb on n'a pas de «water trees». Une pénétration d'eau dans le conducteur en aluminium d'un tel câble est toujours désastreuse.

Des essais sont en cours un peu partout pour tenter de déterminer avec précision les paramètres de la courbe de vie de ces câbles ce qui permettrait de fixer des tensions et durées d'essais proportionnelles.

3. Transports de grande puissance

Le refroidissement forcé est de plus en plus à l'ordre du jour et les puissances transportables augmentent. La limite actuelle semble plus économique que technique; les comparaisons de prix variant beaucoup d'une étude à l'autre, il est difficile de chiffrer des conclusions universellement valables. On discute davantage à la CIGRE de ce qui fait problème et des recherches en cours que des solutions éprouvées, ce qui enchante le spécialiste mais rend parfois difficile une vue objective de l'expérience actuelle.

Dans le domaine des longueurs courtes, les câbles à entretoises isolés au SF_6 font beaucoup parler d'eux. *B. Schmidt*

CE 22, Lignes aériennes

Anlässlich der Session des CE 22 vom 22. August 1974 wurden die folgenden Themen behandelt:

1. Gestaltung der Freileitung in ihrer Umgebung
2. Projektierung von Freileitungen mittels Datenverarbeitung
3. Galoppierende Leiterseile in Spannweiten und Teilspannweiten, Leiterschwingungen und die verwendeten Armaturen

1. Die Gestaltung der Freileitung in ihrer Umgebung

Bei diesem Thema begann die Diskussion über die Frage, ob es in bezug auf den Landschaftsschutz zweckmässig sei, Leitungskorridore zu schaffen. Während in England einzelne Leitungen bevorzugt werden, stellt man sich in Frankreich auf den Standpunkt, dass Leitungskorridore die Landschaft gesamthaft weniger belasten würden. Von seiten eines US-Vertreters wurde darauf hingewiesen, dass in topographisch schwierigem Gelände, insbesondere in gebirgigen Gegenden, Leitungskorridore oft nur schwer oder überhaupt nicht zu realisieren sind.

In Australien, wie auch in den USA, werden immer mehr Masten mit Farbanstrichen getarnt, um sie der Landschaft anzupassen. Auch Corten-Stahlmasten passen sich der Landschaft gut an.

Grossen Wert legt man in den letzten Jahren in den USA auf die Gestaltung der Masten. Die gegenüber den Gittermasten etwa $2^1/_2$mal teureren Masten aus Rohrkonstruktionen sollen bei der Montage und bei den Fundamenten Einsparungen ermöglichen. Eine Publikumsfrage in den USA hat ergeben, dass 50 % der Befragten Rohrmasten vorziehen, 23 % bevorzugen Gittermasten und 25 % wollten keine Stellung beziehen.

In Kanada wurden bei einer Leitung für 1200 kV Versuche mit verankerten Masten mit Kettenaufhängung (catenary towers) gemacht. Ähnliche Versuche wurden bereits 1956 mit 220 kV in Frankreich vorgenommen. Italienische Diskussionsteilnehmer berichteten ebenfalls von verankerten Masten mit Einzelfundament.

Im Zusammenhang mit den Masten wiesen verschiedene Redner aus Deutschland, Frankreich, England und Australien auf die in Entwicklung begriffenen und teilweise bereits angewendeten isolierten Ausleger hin.

2. Projektierung von Freileitungen mittels Datenverarbeitung

Als Diskussionsbasis für das Thema Projektierung von Freileitungen mittels Computer diente der Rapport von Frau von Bentivegni, Motor-Columbus, Baden. Redner aus Rumänien, Frankreich, Schweden, Venezuela, Kanada, Italien, Deutschland, England und den USA beteiligten sich an der Diskussion, aus der hervorging, dass sich der Computereinsatz für die Berechnung von Masten, Seilspannungen und Durchhangskurven, sowie vor allem für lange Leitungen eignet, sofern topographische Details und insbesondere auch Grundstücksgrenzen für die Placierung der Masten nicht von grosser Bedeutung sind.

3. Galoppierende Leiterseile in Spannweiten und Teilspannweiten, Leiterschwingungen und die verwendeten Armaturen

Das letzte behandelte Problem, dasjenige der galoppierenden Leiterseile, der Seilschwingungen und die Verwendung von besonderen Armaturen scheint neben England, Deutschland und den USA auch besonders Japan zu interessieren. Um Leiterschwingungen bei 4er-Bündeln zu verhüten, werden dort zurzeit Distanzhalter in Trapezform angewendet. Aus England wurde von einem aerodynamischen Schwingungsdämpfer berichtet, der aus einem Zylinder mit perforierter Oberfläche besteht und seine Wirkung gegen galoppierende Leiter bewiesen haben soll. Aus Deutschland wurde gemeldet, dass dort Phasendistanzhalter aus Kunststoff gegen galoppierende Leiterseile eingebaut werden.

Aus den USA und Norwegen wurde von Vergleichsstudien über Seilschwingungen an Einzelseilen, 2er-, 3er- und 4er-Bündelleitern berichtet, wobei festgestellt wurde, dass im allgemeinen das Einzelseil schwingungsanfälliger sei.

Die ausserordentlich grosse Beteiligung an dieser Diskussionstagung lässt darauf schliessen, dass in sehr vielen Ländern die bei der Projektierung und beim Bau von Freileitungen auftretenden Probleme nach wie vor von grosser Bedeutung sind. *W. M. Niggli*

CE 23, Postes

Es standen folgende «sujets préférentiels» zur Diskussion:

1. Probleme der sehr hohen Betriebs- und Kurzschlußströme in klassischen und gekapselten Anlagen.
2. Einfluss der unbedingt notwendigen Bedingungen zur Sicherung der Einfachheit, Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit auf die Gestaltung von klassischen und gekapselten Anlagen sowie deren Hilfsbetriebe.
3. Gestaltung und Konstruktion von UHT-Anlagen; Sicherheitsprobleme im Betrieb und Unterhalt; Personalschutz.

Mit dem *Problem Nr. 1* befassten sich 2 Rapporte. Der erste wies anhand eines ausgeführten Beispiels nach, dass gekapselte SF_6-Anlagen für Dauerbetriebsströme von 4000 A bei einem Kurzschlußstrom von 50 kA gebaut werden können. Diskussionsbeiträge erläuterten, dass durch erzwungene Lüftung Betriebsströme bis 12 000 A beherrscht werden können.

Der zweite Rapport befasste sich mit den in Höchstspannungsnetzen zu erwartenden Kurzschlußströmen. Wegen der Umweltverschandelung bleibt der für Freileitungen zur Verfügung stehende Raum beschränkt. Dadurch werden auch die maximalen Kurzschlußströme für die Spannungen von 1050...1300 kV Werte von 75...100 kA kaum überschritten. Es sollte möglich sein, Anlagen für diese Werte zu bauen, wobei bei Freiluftanlagen wohl beim Trenner die grössten Schwierigkeiten liegen, während bei gekapselten Anlagen die Beherrschung der hohen Betriebsströme gelöst werden muss.

In Diskussionsbeiträgen wurden die Vorteile von steifen Verbindungen gegenüber Seilverbindungen in Freiluftanlagen dargestellt.

In England werden künftig die Leitungen für Höchstspannungsnetze dimensioniert für

420 kV	4 400 A
750 kV	6 500 A
1 050 kV	8 700 A
1 300 kV	14 000 A

Die Schaltanlagen sollen diese Ströme dauernd aushalten. Sollten diese Werte verwirklicht werden, dürften bald einmal den Konstrukteuren von Höchstspannungsanlagen die Ströme mehr Schwierigkeiten bereiten als die Spannungen.

Unter dem *Problemkreis Nr. 2* wurden verschiedene Lösungen von gekapselten SF_6-Anlagen, SF_6-isolierten Rohrverbindungen, Freiluftanlagen in stark verschmutzten Gebieten und erdbebensichere Anlagen vorgestellt.

Eine sehr interessante Studie von Mitgliedern der Arbeitsgruppe 23.04 befasste sich mit der Zuverlässigkeit von Anlagen, bezogen auf Spannung, Lebensdauer und auf das gewählte Schema. Um auf diesem Gebiet bessere Vorhersagen machen zu können, wird eine einheitliche Statistik auf breitester Basis benötigt. Die Arbeitsgruppe schlägt vor, dass sich aus verschiedenen CIGRE-Komitees eine Spezialgruppe formiert, die sich diesen Statistiken annimmt.

Unter den *Problemkreis Nr. 3* fällt eine Studie über Überschläge durch Schaltüberspannungen in Anlagen für ultrahohe Spannungen. Obschon verschiedene Einflussgrössen ziemlich gut bekannt sind, werden noch viele Studien und Versuche nötig sein, um diese Probleme genau berechnen zu können.

Diskutiert wurden die Anforderungen an das Personal zur Wartung von gekapselten SF_6-Anlagen. Während die Vertreter der Hersteller der Meinung waren, dass SF_6-Anlagen keine höheren Anforderungen an das Personal stellen, konnte man bei den Benützern eher eine gewisse Skepsis bemerken.

Die letzten 2 Stunden der Session waren einer freien Diskussion über den Vergleich klassischer Anlagen mit gekapselten Anlagen gewidmet. Es war dies ein Versuch, der sich glänzend bewährte und anderen Komitees zur Nachahmung empfohlen werden kann. Während die einen Diskussionsredner gekapselte Anlagen als teure Luxuslösung betrachteten, waren andere der Meinung, dass sich in nächster Zukunft alle Anlagenprobleme einfacher und billiger in gekapselter Bauweise lösen lassen. Heute ist bestimmt der Zeitpunkt noch nicht gekommen, sich eindeutig nur für eine Bauform zu entscheiden, und man wird gut tun, sowohl die klassischen als auch die gekapselten Anlagen weiter zu entwickeln. *Ch. Schneider*

CE 31, Réseaux de Transport

Unter der Leitung von H. P. Barnes wurden die 13 eingereichten Berichte von etwa 60 Votanten lebhaft diskutiert. Als besonderes Beispiel wurde die Netzentwicklung Brasiliens, jetzt bis 500 kV, später 750 kV, mit seinen grossen über das ganze Land verteilten potentiellen Wasserkräften, insgesamt etwa 130 GW, vorgestellt.

Das erste Hauptthema war der *besseren Ausnützung der Leitungstrassen* gewidmet. Wie können mehr MW pro m² Trassenquerschnitt übertragen werden? Unter Berücksichtigung der Erfordernisse bezüglich der Isolationsabstände und der Corona führt der Weg auf der Leitung selbst über höhere Stromdichten in den Leiterseilen. Dazu muss die vom Wetter abhängige jeweilige «ampacity» der Leiter besser und rascher bekannt sein als heute. Ergänzend kann die Verwendung von Leiterisolatoren mit halbleitenden Glasuren zu kleineren Mastabmessungen führen. Resultate von Versuchen stehen vor der Einführung in die Praxis.

Mindestens gleich wichtig für die Leitungsausnützung ist die Belastbarkeit der Übertragungssysteme an sich, wofür der raschen Blindleistungsregelung eine Schlüsselposition zukommt. Bericht 31-08 der Arbeitsgruppe 31-01 gibt dazu eine wertvolle Übersicht über statische regelbare Blindleistungskompensatoren. Der schweizerische Bericht 31-04 «Controllable Reactor Compensator for High Voltage Transmission» stellt eine solche direkt an die Hochspannungsleitung bis 765 kV anschliessbare Anlage vor. Solche Einrichtungen können heute mit kurzen Regelzeiten und reduziertem Oberwellengehalt ausgelegt werden. Auf der Kostenseite ist dabei nicht nur die Blindleistungsanlage als solche allein, sondern das ganze System in Betracht zu ziehen.

Ein bekanntes älteres Mittel zur Erhöhung der Übertragungsleistung sind Serie-Kondensatoren, mit denen auf 500-kV-Netzen im Westen Nordamerikas gute Erfahrungen gemacht wurden. Eine allerdings selten auftretende Schwierigkeit bei deren Anwendung sind subharmonische Schwingungen, die zu Wellendefekten bei Generatoren führen können. Abhilfe ist mit statischen Filtern im Netz möglich.

Über die Notwendigkeit der einphasigen Schnellwiedereinschaltung, einer weiteren Massnahme zur Leistungserhöhung, sind die Meinungen der Anwender nach wie vor geteilt.

Das zweite Hauptthema galt den *zukünftigen Höchstspannungen,* UHV. In Schweden ist der nächste Schritt von heute 400 zu 800 kV beschlossen, Berichte 31-11 und 31-12.

Über verschiedene technische Fortschritte wurde aus den USA berichtet. Mit unsymmetrischen Bündelleitern kann die Corona reduziert werden, jedoch entstehen bei Kurzschluss grosse Ausgleichströme zwischen den Teilleitern. An 765-kV-Leitungen konnten örtlich durch nachträgliches Anbringen glatter Aluminium-Manschetten störende Leitergeräusche beseitigt werden.

In der USSR gehen die Entwicklungen für ein 1150-kV-System weiter, in Italien für 1000 kV. In den USA werden im Osten Netzstudien mit 1300 kV gemacht, im Westen mit 1200 kV. Diese Vielfalt zeigt, wie dringend die Normung der nächsten Spannungsstufen geworden ist. In Mittel- und Westeuropa kann hingegen der weitere Netzausbau mit 400 kV bewältigt werden.

Im dritten Hauptthema wurden *allgemeine Energieprobleme* behandelt.

In der Schweiz wird im Zusammenhang mit der Energiekrise und dem Ausbau der Kernkraftwerke die intensive Nutzung ihrer Abwärme für Fernheizungen vorgeschlagen.

Im Bericht 31-07 aus den USA wird die Notwendigkeit unterstrichen, alle Pläne für die elektrische Energieversorgung in eine allgemeine Energieplanung einzuordnen. Zwei amerikanische Studien zeigen, dass es wirtschaftlich sein kann, kurzzeitig (für z. B. 2 Stunden) Energie in beträchtlichen Mengen, 1000 MW und mehr, in unterirdisch im Fels eingebauten grossen supraleitenden Magneten zu speichern. Kurze Zugriffszeiten und hoher Wirkungsgrad seien deren Vorteile.

Über die denkbare Wirtschaftlichkeit eines Elektrizitäts-Wasserstoff-Energiesystems gingen die Meinungen auseinander. Auch diese neue Technologie wird im kleinen beginnen und sich dann durchsetzen müssen. Die Speicherung von Wasserstoff wird nicht als gefährlicher angesehen als bei Benzin oder Öl.

Als letzter Sprecher richtete M. Vinjar aus Norwegen einen Appell an die CIGRE-Mitglieder, mitzuhelfen, um gegen gefährliche und über grosse Distanzen verfrachtete Luftverschmutzungen, wie SO_2, anzukämpfen. *A. Goldstein*

CE 32, Planification et Exploitation des Réseaux

Im CE 32 wurden Berichte zu den Themenkreisen «Grossenergieübertragung», «Netzüberwachung und -führung im Hinblick auf die Sicherheit» und «Planung der Versorgung von Agglomerationen» vorgelegt und diskutiert.

Die grösste Aufmerksamkeit wurde auf das zweite Thema gerichtet, das im wesentlichen den Computereinsatz für den Betrieb, die Sicherheit, den Aufbau der Datenbank und die Lastverteilung umfasst.

Im besonderen lagen Beiträge vor für die State Estimation (32-01), das Softwarekonzept (32-05), die Betriebsplanung (32-10), über ausgeführte Systeme (32-11), über ein Sicherheitskonzept (32-12), die offline-Programme zur Untersuchung der Stabilität und Sicherheit (32-15), sowie die Struktur der Netzführung (32-14).

Berichte und Diskussion unterstrichen die Bedeutung der Sicherheit, wodurch die fehlerfreie Datenerfassung (State Estimation) und die Sicherheitsüberwachung (Security Assessment) motiviert werden. In diesem Zusammenhang wurden der Aufbau der Datenbasis, eine Strategie für den Gesamtschutz, Fragen der Redundanz der Messungen erwähnt.

Die hierarchische Anordnung des Führungssystems wird klar befürwortet. Computer und datentechnische Systeme werden auf verschiedenen Niveaus zu einem System zusammengefügt. Bezüglich des Aufbaus der Datenbasis ergibt sich die Notwendigkeit, aktuelle Daten mit solchen der Vergangenheit zusammenzufügen und darüber hinaus solche aus dem Nachbarnetz zu übernehmen.

Auf der anderen Seite ist klar zum Ausdruck gekommen, dass die dynamische Regelung Sache des Kraftwerkes ist. Als Beispiel

ist mehrmals die Erregung des Generators und ihre Rolle in der Stabilisierung angeführt worden.

Zum zweiten Hauptthema, nämlich der Planung grosser Netze, lagen ausführliche Berichte über das James-Bay-Projekt in Quebec, Kanada (32-07), das AEP-Netz (32-13) und ein Bericht des Studienkomitees 32 (32-17) vor. Ein wichtiger Diskussionspunkt war die Wahl der Stromart und die Höhe des Spannungsniveaus. Bei der Drehstromübertragung, die in den behandelten Fällen bevorzugt wird, ist die statische Blindleistungskompensation ein neues Element, das günstige Auswirkungen auf die Kosten und das Betriebsverhalten zeigt. AEP befürwortet für die tieferen Übertragungsspannungen die Strombegrenzung beim Kurzschluss. Bezüglich der Einführung einer Spannung über 1000 kV sind bei AEP konkrete Vorstellungen vorhanden. Danach ist dieses Nieveau in einiger Zeit genauso gerechtfertigt wie vor 10 Jahren dasjenige von 765 kV.

Das dritte Thema wurde nur in wenigen Berichten behandelt, die sich mit der Versorgung von Großstädten (32-02, 32-03, 32-04) beschäftigten. Darin wurden die Planungsmethoden für Agglomerationen (Verteilnetze) behandelt.

Ergänzende Themen betrafen Analyse- und Planungsmethoden (32-06, 32-16, 32-09) sowie Sonderprobleme der Stabilität bei Bündelleitern (32-08). *H. Glavitsch*

CE 33, Surtensions et Coordination de l'Isolement

Ein weites Gebiet wurde durch die eingereichten 20 technischen Berichte und einige ebenfalls behandelte Electra-Artikel der letzten Zeit überdeckt. Neben der Darstellung des neuerdings vor allem vom Les Renardières-Kreis betriebenen Studiums der Ausbildung langer Funken bei Schaltspannung befasste man sich in der Diskussion mit Blitzmessungen einschliesslich Eigenschaften und Ergebnissen von Blitzzählern, dem Einfluss von natürlicher und künstlicher Verschmutzung auf das Isoliervermögen von Leitungs- und Stationsisolationen speziell bei Höchstspannung, Reinigung von Isolatoren und Ketten durch Abspritzen im Betrieb, Berechnung der transienten Vorgänge in Netzen einschliesslich der durch Ferroresonanz ausgelösten Überspannungen.

An der Diskussion beteiligten sich 72 Experten.

Einleitend gab Prof. K. Berger einen Überblick über die Resultate der seit drei Jahrzehnten betriebenen und weltweit anerkannten Blitzmessungen am Monte San Salvatore mit Zeitauflösung des Vorwachsens des Kanals und Strom- und Feldstärkemessungen. Wenn auch die physikalischen Vorgänge bei der Blitzausbildung teils recht gleichartig den im Laboratorium erzeugten Funkenentladungen sind, so bestehen doch in Entstehung und Ablauf grössere Unterschiede, weshalb der Vergleich beider nicht zu weit getrieben werden sollte.

Neue Stationen zur Erforschung der Blitzphänomene wurden in letzter Zeit in mehreren Ländern (Frankreich, Italien, Südafrika) in Betrieb genommen. Über Untersuchungen der EdF mit Hilfszündung von Blitzen durch hochgeschossene Raketen und im Blitzstrahl verdampfendem Erdungsdraht wurde ein Film vorgeführt. Von verschiedenen Seiten wurde der Bau von Super-Stossgeneratoren mit dem Mehrfachen der heute erreichten Spannungen als wünschbar bezeichnet.

Viele Bemühungen gelten der Übertragung der in Luft für kurze Funken erhaltenen Abhängigkeiten auf grosse Entladungsstrecken; man möchte die Überschlagspannung der grossen Strecke voraussagen und auch möglichst aus der Überschlagspannung der besonders einfachen Anordnung Stab-Platte auf die Vielzahl der anderen für die Praxis wichtigen Anordnungen schliessen (gap factor), ebenso sollen durch ein besseres physikalisches Verständnis empirische Befunde wie beispielsweise etwa die V-Kurve der Überschlagspannung bei positiver Schaltspannung mit Minimum im Bereich um 100 µs und dessen Verschiebung zu längeren Zeiten bei grossen Schlagweiten, der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die elektrische Festigkeit und dergleichen mehr einer Klärung nähergebracht werden. Dazu gehört auch die Frage nach der zweckmässigen Definition der Frontdauer eines Spannungsstosses. Es haben nämlich Untersuchungen der letzten Jahre recht wahrscheinlich gemacht, dass für Durchschlag oder Nichtdurchschlag einer Funkenstrecke bei Stoss vor allem der Verlauf der Spannung wenig unterhalb des Scheitels entscheidend ist (leader-Entwicklung) und die bisherige IEC-Festlegung der Front mittels einer Geraden durch die 30 %- und 90 %-Punkte zu wenig darauf Rücksicht nimmt. So erhält man bei CEI-gleicher Frontdauer von Stössen etwa von doppeltexponentiellem Verlauf (erzeugt durch Kondensatorentladungen) etwas andere Ergebnisse als etwa bei einem Verlauf nach 1-cos φt (Stosserregung eines Prüftransformators). Von einem Redner wurde bezweifelt, ob sich überhaupt für alle möglichen Impulsformen eine einfache Definition der Frontdauer finden lasse, weil die Ausbildung des Funkens von zu vielen Einflussgrössen mitbestimmt wird. Für den Netzbetrieb ist natürlich die Frage nach der Äquivalenz der vorkommenden Überspannungsabläufe mit den im Laboratorium erzeugten Normstössen von einiger Bedeutung.

Von kanadischer Seite wurde über Messungen berichtet, wonach das bei Schaltspannungsversuchen gefundene Minimum nur für die 50 %-Überschlagspannung, nicht aber für die Haltewerte sehr geringer Durchschlagwahrscheinlichkeit gilt; der Haltewert ist praktisch konstant von kurzer bis zu langer Frontdauer.

Die Reichweite von Blitzzählern bleibt umstritten, Vorschläge zur Eichung zwecks besserer Vergleichbarkeit der Angaben wurden gemacht.

Dem Schutz von Leitungen und Stationen gegen Blitzentladungen galten Überlegungen über die anzusetzende Impedanz des Blitzpfades sowie über das Einschlagverhalten hoher Maste. Nach russischen Angaben sind rückwärtige Überschläge in Höchstspannungsnetzen wenig zu befürchten. Die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zur Abschätzung der Ausfallwahrscheinlichkeit und der Abhängigkeit von der Netzkonfiguration, der Zeit–Spannungskennlinie der Isolation, dem gewählten Koordinationsniveau usw. wurde betont. Ein niedrigeres Isolationsniveau setzt eine vergrösserte Zahl von Überspannungsableitern an all den zu schützenden Stellen einer ausgedehnten Höchstspannungsstation voraus. Auf die Unsicherheiten der Ableitung von Haltewerten bei selbstregenerierenden Isolierungen aus der 50 %-Überschlagspannung wurde mehrfach hingewiesen; letztere ist eine blosse Hilfsgrösse. Empfohlen wurde soweit möglich die direkte Ermittlung der Haltespannung aus möglichst wenig Überschlägen am Objekt.

Das Verhalten von Freiluftisolationen in verschmutzungsgefährdeten Gebieten beeinflusst die Festlegung der Kriechwegbzw. Überschlagslängen, Schirmprofil, Schirmzahl usw. Art und Stärke der Verschmutzung werden gerade in Höchstspannungsnetzen von ausschlaggebender Wichtigkeit, wenn die erforderliche Isolierlänge mehr als linear mit der Spannung ansteigt. Nach neuesten Untersuchungen scheint bei Labor-Verschmutzungsprüfungen die Art der Versuchsdurchführung, so etwa ob die Spannung auf die feuchte Fremdschicht draufgeschaltet oder erst unter anstehender Spannung befeuchtet wird, oder ob mit Fremdschicht vom VDE-Typus oder mit fliessender Schicht gearbeitet wird, entscheidend für Linearität oder Nichtlinearität zu sein. Bei der in kontinentalen Ländern meist anzunehmenden gewachsenen Verschmutzung und langsamer Durchfeuchtung ist eher mit Nichtlinearität zu rechnen. Auf die Wichtigkeit ausreichender Leistungsfähigkeit der Prüfanlage (bei Höchstspannungen Kurzschlußstrom mindestens etwa 30 A) wurde neuerdings hingewiesen.

Für Gleichspannungsbeanspruchung wurde als elektrische Festigkeit bei Verschmutzung je nach Isolatorprofil ein Wert von ca. 80 % der bei Wechselspannung genannt.

Für Höchstspannungsleitungen wurde die Reinigung verschmutzter Isolierketten durch Abspritzen mit einem Druckwasserstrahl empfohlen (Ägypten). Gegenüber einer Silikonbehandlung ergäben sich beträchtliche Einsparungen. Beim Abspritzen von Überspannungsableitern ist auf gleichmässiges Bespritzen zu achten, da sonst Isolatordurchschläge zu befürchten seien. Die Aussage eines Berichtes, wonach mehrteilige Ableiter unter Verschmutzung sich ebenso günstig verhalten als einteilige, wurde bezweifelt.

Zum Thema Ferroresonanz in Netzen wurden zusätzliche Angaben gemacht. Bei richtiger Wahl der Bestimmungsgrössen lässt sich, wie auch von schweizerischer Seite (Prof. Morf) ausgeführt wurde, gute Übereinstimmung der Rechnungsergebnisse mit den beobachteten Netzvorgängen erreichen. Bei Kabelanschluss eines leerlaufenden Transformators sind hohe Überspannungen mög-

lich. Auf die Gefahr einer zu starken Erwärmung des Transformators durch einen zu hohen Magnetisierungsstrom wurde verwiesen. Überströme bei Spannungswandlern (bis zu 1 A) sind höchstens für wenige Minuten erlaubt. *B. Gänger*

CE 34, Protection, Automatisation et Equipements de Télécommande

Die Diskussionen wurden in drei grossen Gruppen, entsprechend den empfohlenen Themata geführt. Ohne Zweifel fokussiert auch das Interesse der Diskussionsredner über das 1. Thema, die Fortschritte in der Schutztechnik generell. Sehr lebhaft wurden die Fragen des Distanzschutzes diskutiert und wieder einmal mehr die verschiedenen Vorzüge und Nachteile der diversen Ansprechcharakteristiken herausgestellt. Auf Grund des klaren Fragenschemas des «rapporteur spécial» gelang es, mit Sicherheit in dieses heikle Thema einzudringen, wobei mehrheitlich nun doch die Vorteile der polygonalen Ansprechcharakteristik selbst für Kabelstrecken zutage traten. Keinesfalls aber sind die Kreischarakteristiken in Misskredit geraten und nicht zuletzt wurde seitens der USA und der Schweiz eine Lanze für diese heute weitgehend angewendete Messtechnik gebrochen.

Im Hinblick auf Phasenvergleichsschutz wurde englischerseits mit Nachdruck auf die Messwertübertragung mit Signalkabeln oder PTT-Leitungen verwiesen; im Hinblick auf Reserveschutz ist die mögliche Anwendung von Prozessrechnern mitberücksichtigt worden; im Hinblick auf Leitungsschutz unter Netzpendelungsbedingungen erfolgte eine Diskussion innerhalb bekannter Tatsachen, während weitere Diskussionspunkte sich auf Wiedereinschaltungen, Zeitverhalten von Einzelrelais, Anwendung von Frequenzrelais in Netzen mit Lastabwurf usw. sowie Gegenüberstellung herkömmlicher Methoden mit Überstromrelais bezogen. Abschliessend wurde dieses erste Thema mit Betrachtungen über Betriebssicherheit und Einspeisung der Messgrössen behandelt.

Das 2. Thema bezog sich auf neueste Erfahrungen in Teilautomationssystemen unter Berücksichtigung modernster Anzeigemethoden (display). Dieses an und für sich weitläufige und neue Diskussionsthema ist vermutlich gerade wegen seiner Komplexität verhältnismässig allgemein behandelt worden. Die Diskussionen bezogen sich auf Einsatz von Kleinrechnern, resp. Erfahrungen mit diesen, der Zuleitung verschiedener Messdaten zu diesen Rechnern und deren wahrscheinliche Nützlichkeit sowie auf die Möglichkeit, kleine Rechner einerseits für Steuerzwecke, andererseits eventuell aber nur für Informationszwecke einzusetzen. Hier zeigte sich eindeutig, dass Prozessrechner für Steuerzwecke mit wenigen Ausnahmen nicht im Einsatz stehen, und die zweifelnden Stimmen waren aus der Diskussion deutlich zu vernehmen; unbestritten aber ist die Nützlichkeit für Datenverarbeitung für Informationszwecke. Unbestritten waren auch die Schwierigkeiten bei der Ableitung geeigneter Messgrössen. Abschliessend wurde die mögliche Struktur solcher Automatisierungssysteme, ihre Betriebssicherheit und die modernen Methoden der Informationsanzeige behandelt. Hier zeigte sich, dass in vielen Fällen ausgesprochenes Neuland betreten werden muss, was aus der Mentalität der Kraftwerks- und Netzbesitzer als ein Schritt in die Zukunft mit heute noch vielen Fragezeichen aufgefasst wurde.

Das 3. Thema bezog sich auf die «interfaces» zwischen Anlageteilen des Netzbetriebs, der Installation schutztechnischer und messtechnischer Einrichtungen. Im wesentlichen wurden Fragen behandelt, die den Einfluss von Störspannungen aus Schalthandlungen usw. der Messanordnung und des allgemeinen Aufbaus der heutigen Unterstationen zum Thema hatten.

Ch. Hahn

CE 35, Télétransmission

Die Zahl der den Nationalkomitees unterbreiteten Berichte zum Thema «Communication» ist normalerweise wesentlich kleiner als diejenige über energietechnische Probleme; aus diesem Grunde überspringen in der Regel nur wenige Arbeiten aus diesem Gebiet die Hürde der Auswahl in den einzelnen Nationalkomitees. Das Studienkomitee 35 hatte sich deshalb nur mit 5 Beiträgen zu befassen, die dafür ausgiebig diskutiert werden konnten. Die geringe Zahl erlaubt eine stichwortartige Wiedergabe der einzelnen Berichte und Diskussionsbeiträge.

«A message switching network designed for data communication and remote control» (35-01; Schweden):

Der Bericht beschreibt die Datenerfassung, Übertragung und Vermittlung im TIDAS-Projekt, einem System zur Überwachung und Steuerung der schwedischen Energieversorgung, das 1978 in Betrieb gehen soll. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die *Meldungsvermittlung,* dank der im Netz verteilten Intelligenz (Kleinrechner), der Flexibilität bei Teilausfall und dem erweiterungsfähigen Aufbau der *Kanalvermittlung* überlegen sei. Die Datenübertragung wird ausschliesslich synchron, mit 2400 bit/s, erfolgen; die Bitfehlerraten des schwedischen TFH-Netzes sind sehr gering (kleiner als im öffentlichen Netz); ein zyklischer Code schütze wirksam gegen typische TFH-Störgeräusche. Ein englischer Diskussionsbeitrag begründet den Entscheid für ein asynchrones Start-Stopp-System, das 1978 in Betrieb sein wird.

«Optimum power line carrier coupling arrangement on transposed single circuit power lines» (35-02; Schweiz)

Gestützt auf Resultate, die an einer Vielzahl durchgerechneter Leitungen gewonnen wurden, ist es heute auch für mehrfach transponierte Leitungen möglich, die jeweilige, im worst-case-Sinne optimale Kopplungsanordnung anzugeben. Der Referent berichtet ergänzend über nachträgliche Messungen an einer türkischen Leitung, welche die numerischen Resultate und die daraus abgeleiteten Überlegungen voll bestätigen. Die Diskussionsbeiträge zeigen, dass in den verschiedenen Ländern keine einheitliche Auffassung über den praktischen Nutzen von Transpositionen von Hochspannungsleitungen besteht; der Nachrichtentechniker, der in jedem Fall mit einer gegebenen Leitung fertigwerden muss, begrüsst deshalb alle Arbeiten, die ihm die Systemplanung erleichtern.

«Measurement and calculation of intrabundle HF communications paths» (35-03, UdSSR):

Angeregt vor allem durch neuere englische Forschungen theoretischer Natur (CERL), findet die hochfrequente Nachrichtenübertragung über die isolierten Seile eines Phasenbündels neues Interesse. Der Bericht vergleicht Rechnung und Messungen an einer 62 km langen 330-kV-Leitung mit rund 5000 isolierenden Abstandshaltern. Ankopplung und Frequenzbereich sind allerdings konventionell (Sperren, 50...500 kHz) und decken sich nicht mit den englischen Vorschlägen ($\lambda/4$-Leitung, 500...2000 kHz), die, einem Diskussionsbeitrag zufolge, heute in Norwegen realisiert werden. Die Resultate sind ermutigend.

«Multi-level supervisory control and data acquisition system within a large electric network» (35-04, Italien):

Der Bericht befasst sich mit einem hierarchisch geordneten, zentralisierten, integrierten Steuer- und Datenerfassungssystem. Er legt besonderes Gewicht auf Fragen der Organisation, der Standardisierung, der Fehlererzeugung bei Fernmessungen, der Verfügbarkeit und dem Schutz gegen Übertragungsfehler. Ein französischer Diskussionsbeitrag berichtet über Versuche, die bei 9600 bit/s durchgeführt wurden: 18 000 fehlergesicherte Blöcke von etwa 100 bit wurden typischen TFH-Störungen unterworfen und fehlerfrei übertragen.

«Telecommunication by means of microwaves» (35-05, 35-05A, Holland):

Der Beitrag behandelt hauptsächlich die Erfahrungen, die in mehrjährigem Betrieb des holländischen Mikrowellenrichtstrahlnetzes der SEP gesammelt wurden. Häufigkeit und Ursache sämtlicher Ausfälle und Störungen werden angegeben; die Verfügbarkeit des Netzes ist heute – nach anfänglichen Schwierigkeiten – ausserordentlich hoch und übertrifft nach Ansicht des Autors diejenige eines gemieteten Kabelnetzes. Diese Ansicht wird von englischen Diskussionsbeiträgen allerdings nicht ohne weiteres geteilt, erfahrungsgemäss rechnen sie mit Verfügbarkeiten von 99,85 % für ihr Kabelnetz. *F. Eggimann*

CE 36, Perturbations

Im Vordergrund der Diskussion standen im Rahmen der für die Session 1974 gewählten Präferenzthemen die folgenden Schwerpunkte:

1. Das elektrische Feld unter Hochspannungsleitungen und in Schaltstationen, Berechnungs- und Messmethoden sowie mögliche Einwirkungen des Feldes auf den menschlichen Körper

Zur Berechnung der allgemeinen Feldkonfigurationen und Feldstärken wie auch der Messung der Feldstärken direkt über dem Boden wurden durch Mitarbeiter der Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik Mannheim sowie des Instituts für Hochspannungs- und Anlagentechnik TH München in einem CIGRE-Bericht neue Methoden und Messeinrichtungen vorgelegt, welche allgemeine Anerkennung fanden. Man kann wohl sagen, dass mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln zumindest für jede Geometrie einer Freileitung und jede Spannungsebene die mehrdimensionale Feldverteilung unter einer Hochspannungsleitung mit genügender Genauigkeit berechnet werden kann.

Jedoch scheint noch durchaus offen zu sein, welche Effekte Feldstärken von 10–15 kV/m oder höher unter einer Freileitung, bezogen auf ca. 1 m über Boden, auf den menschlichen Körper haben können. Die biomedizinische Forschung ist auf diesem speziellen Gebiet noch nicht genügend fortgeschritten. Es fehlen auch generell akzeptierte Angaben über zulässige Feldstärke-Limiten und unter welchen Umständen solche Limiten gelten. Das Problem ist wesentlich komplexer als im Fall von Berührungsströmen, wo über die physiologische Wirkung schon ausgedehnte Untersuchungen existieren und weitgehend Übereinstimmung über zulässige Grenzen herrscht.

Aus der Diskussion ergab sich eine mehrheitliche Meinung, dass die Spannungsebenen bis 480 kV keine schädlichen Effekte, hervorgerufen durch Feldstärken-Einwirkungen, ergeben. Für die höheren Spannungsebenen bis 1500 kV scheinen jedoch zusätzliche Massnahmen, wie Abschirmungen usw., wenigstens lokal an exponierten Stellen, notwendig zu werden. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung sind in mehreren Ländern im Gange.

2. Radioelektrische und akustische Störungen, hervorgerufen durch Corona der Leiter

Während die radioelektrischen Störungen heute als weitgehend beherrschbar gelten, haben sich bei Freileitungen mit Spannungen oberhalb 400 kV akustische Störungen gezeigt, deren Mechanismus vorerst nicht bekannt war.

Die vorgelegten Berichte und Diskussionsbeiträge liessen erkennen, dass auch diese Störquelle in absehbarer Zeit beherrscht werden wird.

Interessante Resultate haben asymmetrische Bündel-Anordnungen mit 8...10 Leitern ergeben. Das Hauptaugenmerk liegt heute bei der Optimierung solcher Bündelkonfigurationen in bezug auf alle Stör- und Verlustquellen, hervorgerufen durch Corona. Diese Optimierung scheint jedoch bei Feldstärken oberhalb 15...20 kV/m an der Leiteroberfläche nicht mehr durchführbar zu sein.

3. Radioelektrische Störungen, hervorgerufen durch Isolatoren

Die ausgedehnten Tests, teils mit den CEI-Prüfmethoden, scheinen zu zeigen, dass halbleitende Glasuren besser abschneiden, besonders bei sehr leichter Verschmutzung, als früher erwartet. Andererseits wird anerkannt, dass solche Oberflächenüberzüge von Isolatoren in bezug auf thermische Stabilität noch nicht restlos beherrscht werden. Auch stellen sich allgemein, aber besonders bei dieser Art von Isolatoren, Probleme der Koordination von Überschlagsspannung und Störbeeinflussung, wobei auch in der Diskussion immer wieder mit Recht darauf hingewiesen wird, dass das Verhalten der ganzen Isolatorenkette mitsamt allen Armaturen ausschlaggebend sei. *A. de Quervain*

Technische Mitteilungen – Communications de nature technique

Grundlagen und Theorie – Technique de base, théorie

Ermittlung charakteristischer Feldstärken für den Überschlag an Grenzflächen in SF_6

621.315.618 : 546.226'161 : 621.3.015.53

[Nach *B. Krey* u.a.: Ermittlung charakteristischer Feldstärken für den Überschlag im SF_6. Elektrie 28(1974)8, S. 437...440]

In Einstoffsystemen ist es relativ einfach, aus den gemessenen Durchschlagspannungen charakteristische, von der jeweiligen Elektrodengeometrie weitgehend unabhängige Feldstärken zu berechnen, die als «elektrische Festigkeit» des betreffenden Isoliermediums bezeichnet werden. Auch für das Gas Schwefelhexafluorid (SF_6) ist dieser Wert gut bekannt.

Die Kombination eines festen und eines gasförmigen Isoliermediums mit anaxialen und axialen Zylinderanordnungen als Elektroden ergibt ein Mehrstoffsystem mit Grenzflächen. An geeigneten Versuchsmodellen können charakteristische geometrieunabhängige Feldstärken ermittelt werden, welche in Abhängigkeit von Isoliergasdruck und Spannungsform die «Überschlagfeldstärke» ergeben. Diese ergibt sich aus der bekannten Schwaigerschen Beziehung unter Berücksichtigung der Überschlagspannung, des Elektrodenabstandes und des Homogenitätsgrades.

Die Überschlaghöchstfeldstärke ist wie die Durchschlaghöchstfeldstärke nahezu unabhängig vom Elektrodenabstand, fällt für alle Spannungsformen mit grösser werdendem Elektrodenradius ab und nähert sich für grosse Radien einem konstanten Wert, der Überschlagfeldstärke. In einer doppelt logarithmischen Darstellung von Überschlagfeldstärke und Druck kann der Zusammenhang in Form einer Geraden dargestellt werden. Analog wie beim Einstoffsystem ergeben sich dabei für die Impulsspannungen höhere Überschlagfeldstärken als für Wechselspannungen.

Für die technische Auslegung von SF_6-Isolierungen mit Grenzflächen erlaubt die Kenntnis der Überschlagfeldstärke mit Anwendung der Schwaiger-Beziehungen eine Optimierung. Eine genügende Sicherheitsmarge hat natürlich den technischen Unzulänglichkeiten der Praxis Rechnung zu tragen. *A. Baumgartner*

Meilenstein in der Erforschung von MHD-Systemen

621.313.522

MHD(Magnetohydrodynamic)-Generatoren ermöglichen die direkte Gewinnung von Elektrizität aus Wärme, also ohne Umweg über eine Turbine. Das Prinzip beruht darauf, dass ionisiertes Gas (ein Plasma, welches heiss genug ist, um als elektrischer Leiter zu dienen) ein Magnetfeld durchströmt. Der Wirkungsgrad eines solchen MHD-Generators ist relativ klein und lag bis anhin bei maximal 8...9 %. Das heisst, dass 8...9 % der in den Generator geleiteten Wärme direkt in elektrische Energie umgewandelt werden konnten. Im Raumforschungslaboratorium von General Electric in Valley Forge (USA) ist es nun gelungen, den Wirkungsgrad auf 20 % zu steigern. Dieser Erfolg ist als wichtiger Schritt im Hinblick auf einen künftigen kombinierten Einsatz von MHD-Systemen und konventionellen Turbogeneratoren zu werten. Dies hätte eine bessere Ausnutzung des Brennstoffes einerseits und weniger Abwärme andererseits zur Folge. Mit der Erreichung der 20-%-Grenze ist zwar ein wichtiger Schritt in der MHD-Forschung getan, trotzdem kann man erst langfristig mit dem Einsatz solcher Systeme in Kraftwerken rechnen.

Elektrische Energie-Technik und -Erzeugung
Technique et production de l'énergie

Kislogubsk, ein neues Gezeitenkraftwerk

621.311.21–827(47)

[Nach *L. B. Bernstein:* Kislogubsk: A small station generating great expectations. Water Power, 26(1974)5, S. 172...177]

Trotz der offensichtlich beinahe unbegrenzten Energiemenge, welche in den Gezeiten steckt, ist der Durchbruch zur allgemeinen Verwertung immer noch nicht erfolgt. In verschiedenen Ländern sind Versuchskraftwerke gebaut worden, um Erfahrungen zu sammeln. Die erste Anlage entstand schon 1935 in Passamaquoddy an der Grenze zwischen den USA und Kanada. Erst mehr als 30 Jahre später folgte 1967 die Anlage Rance an der französischen Kanalküste. Diese war für eine Leistung von 240 MW ausgelegt. Die Erstellungskosten waren jedoch etwa