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: 69 (1978)

Heft: 2

Rubrik: Briefe an die Redaktion = Lettres à la rédaction

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: 16.07.2025

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

un nouveau projet d'harmonisation [document *CENELEC 64B(Sec)2067*] destiné à remplacer le document *HD 25*. Les commentaires auxquels ce projet donnera lieu seront étudiés par un Groupe de Travail ad hoc au début de 1978.

En ce qui concerne les courants admissibles dans les conducteurs, le Sous-Comité a pris note du fait que la Publication 448 de la CEI est présentement en revision. Il ne faut donc pas s'attendre à ce qu'un document harmonisé du CLC en ce domaine soit diffusé avant 1981.

Aucun accord n'a pu être obtenu sur le choix et les conditions de pose des câbles enterrés. La décision a été prise de demander au TC 20 du CLC de communiquer au TC 64 la liste des types de câble qu'il est encore prévu d'harmoniser, afin que les Comités Nationaux représentés au SC 64B puissent indiquer ceux qu'ils estiment pouvoir être utilisés pour la pose enterrée.

A la question posée par le CE 20 sur le repérage du conducteur de protection des câbles souples pour ascenseurs, le SC a proposé de répondre que, si dans les câbles jusqu'à 5 conducteurs un fil vert/jaune doit toujours être exigé, pour les câbles à plus de 5 conducteurs une exécution sans fil de terre (type B) pourrait être admise en plus de celle avec conducteur PE (type A). D'autre part le Comité 10 du CEN devra être informé que la double coloration vert/jaune ne doit pas être utilisée dans un autre but que celui de la protection, et que dans certains pays il est toléré qu'un conducteur repéré en une autre couleur puisse être utilisé comme conducteur de protection s'il est désigné correctement en vert/jaune à ses extrémités.

L'analyse du document *CENELEC 64B(Sec)2066* traitant des problèmes de doubles alimentations a montré que certains couplages sont utilisés dans les alimentations dites de sécurité. Il a donc été décidé de faire parvenir au GT 14 de la CEI le contenu du document en question et de ne pas poursuivre son étude pour l'instant au Sous-Comité.

Enfin, un nouveau Groupe de Travail sera chargé d'étudier sous quelle forme la Publication 585-1 de la CEI relative aux alimentations des caravanes et des bateaux de plaisance devra être reprise par le TC 64 du CLC. *Ch. Ammann*

Briefe an die Redaktion – Lettres à la rédaction

«Hochfrequente Signale und Störungen auf geräusch- und fehlerbehafteten Hochspannungsleitungen»
[Bull. SEV/VSE 68(1977)6, S. 281...287]

Zuschrift: Übersichtlichere Netzanalyse

Die Technik der Übertragung von HF-Signalen auf Hochspannungsleitungen hat sich vor Jahrzehnten eingebürgert und seither ausgezeichnet bewährt. Von einem vertieften theoretischen Verständnis erhofft man mit Recht immer weitere technische Verbesserungen. Allerdings stellen sich der Vertiefung des theoretischen Verständnisses in der Form immer undurchsichtiger werdender Gleichungssysteme immer grössere Schwierigkeiten entgegen. Da, wie die Verfasser beschreiben, bei fehlerbehafteten Leitungen selbst auf schnellen Rechnern manchmal stündige Rechenzeiten resultieren, ist möglicherweise der Einsatz des Computers nicht die optimale Lösung. Welche Möglichkeiten stehen sonst noch zur Verfügung? Der Einsender hatte sich vor Jahren mit Schaltvorgängen auf Hochspannungsleitungen theoretisch zu befassen, wobei er auf Schwierigkeiten ähnlicher Art stiess. Die Problemstellung war ein wenig verschieden von der vorliegenden, indem in rascher Folge von einzelnen Leitungen zu verzweigten Leitungen und schliesslich zu ganzen Netzen fortgeschritten werden musste. Die damaligen Rechner waren noch viel langsamer als die heutigen. Gegen Ende seiner Untersuchungen kam der Einsender auf den Gedanken, die Gruppentheorie, genauer die Darstellungstheorie der Gruppen, einzusetzen. Es war aber nicht mehr möglich, diesen Gedanken zu Ende zu führen, und so weiss er jetzt nicht, ob der Vorschlag sinnvoll ist oder nicht.

In Anknüpfung an die Arbeit von *F. Eggimann* und *W. Senn* wäre eine ausgezeichnete Gelegenheit vorhanden, diesen Gedanken erneut aufzugreifen. Bei den in Frage stehenden Problemen handelt es sich offenbar um unverzweigte Leitungen, was eine nicht zu unterschätzende Vereinfachung der Aufgabe bedeutet und mindestens anfänglich höchst erwünscht ist. Sollte der Gedanke neu sein und sich tatsächlich als brauchbar erweisen, so dürfte man hoffen, vielleicht u. a. auch einen vertieften Zugang zu Schaltvorgängen sowie zu Fragen der Netzstabilität mit Bezug auf die Netzfrequenz zu erhalten und von da her z. B. auch Fragen der Wirtschaftlichkeit im Netzbetrieb aufzurollen und zu lösen, zu denen man bisher keinen theoretischen Zugang fand. Der Gruppencharakter entsteht, weil die Leiterseile unter sich vertauscht werden können. Dabei bleibt das Leitungssystem als solches invariant. Sofern mehrere Erdseile vorgesehen sind, könnte man auch diese unter sich vertauschen. Die Invarianz geht verloren, wenn Leiterseile gegen Erdseile vertauscht werden, was nur mathematisch bedeutungsvoll sein dürfte. Die so entstehende Gruppe ist eine Permutationsgruppe. Ob aber mit dieser Einsicht die Lösung der praktischen Problemstellung näher gerückt ist, muss zuerst ausführlich untersucht werden. In Fällen, in denen es gelingt, die Gruppendarstellung zu finden und zu reduzieren, kann man ohne die Gleichungen selbst zu lösen, tiefliegende Aussagen über die Lösungen machen. Um die Problemstellung nicht von Anfang an unnötig zu komplizieren, könnte man sich nach Meinung des Einsenders zunächst auf die Analyse beim Stationärvorgang, d. h. bei Netzfrequenz beschränken, wo auch die wirtschaftliche Seite einer eventuellen Lösung sicher am bedeutungsvollsten wäre. *Robert Zwahlen,* 8049 Zürich

Stellungnahme der Autoren

Die von *R. Zwahlen* vorgeschlagene Anwendung der Darstellungstheorie der Gruppen auf die Analyse des Übertragungsverhaltens von Hochspannungsleitungen halten wir in jeder Beziehung für untersuchungswürdig. Wie auch der Einsender bereits antönt, wäre in einem ersten Schritt die Analyse bei Netzfrequenz wahrscheinlich sinnvoller als im Hochfrequenzbereich. Dafür spricht nicht nur das einfachere Ersatzschaltbild für die Leitung, sondern mindestens ebensosehr die wirtschaftliche Bedeutung einer übersichtlichen Lösung für die Energieübertragung.

Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass eine «Lösung» in allen konkreten Fällen die Angabe numerischer Resultate bedeutet, sei dies nun die Übertragungsfunktion für Netz- oder Hochfrequenzleistung oder die zahlenmässige Beschreibung des Impulsverhaltens einer Leitung, d. h. ihre Antwort auf Schaltvorgänge.

Die Autoren sind überzeugt, dass der von R. Zwahlen unterbreitete Vorschlag für ein Hochschulinstitut, das sich mit der mathematischen Behandlung von Netzwerken befasst, eine dankbare Problemstellung abgeben könnte. *F. Eggimann, W. H. Senn*

«Gedanken zur technisch-wissenschaftlichen Ingenieurtätigkeit dargelegt an Lösungsbeispielen in elektrischen Maschinen»
[Bull. SEV/VSE 68(1977)14, S. 685...690]

Zuschrift

This excellent work takes me back to my student days a 1/4 of a century ago, when Professor *Dünner* taught us at the ETH fundamentally the same principles as presented in this paper. Also, I found *Kesselring's* work [1] valuable. Economies of manufacture and operation must be considered explicitly; the degree of detail may change. Enjoyment and satisfaction are important rewards of good engineering work as described by the author.

Some time ago I coined the phrase *total design* to describe that for best results the designer of electrical machines and apparatus should not only sharply focus on important details but also have good command and control of all the different disciplines of electromagnetics, thermodynamics, metallurgy, chemistry as applied to insulation, kinematics, static and dynamic strength of structures, gas and fluid dynamics, economics of manufacture and operation etc. He should integrate all these in a selected balanced mixture in his person. He will then be successful and have fun. *Kesselring* gives us interesting references to switchgear work. The general principles of this paper are applicable, as the author tells us, to all engineering work, indeed beyond that to all purpose-oriented tasks.

The attitude must be dynamic. Adjusted to the ever changing conditions resulting from technological advances and environmental (including economic) conditions. An example is that as technological progress with metallurgy, control of electromagnetic parameters, fully channelled direct liquid cooling, etc. takes us to consider further increases in loading and utilization, we come to 182 bar water pressure in the rotor of a 3000 RPM machine [2]. The successful handling of this is a formidable task that brings hydrodynamics seal technology, insulation technology into a dominant position. Economics (including those of operation and maintenance) then might well take us to the less spectacular lower utilization factors c of the 4-pole-machines and machines having gas cooling of the motors [3; 4].

Last but not least, let us retain a good measure of empiricism. Let us continue with pushing back the frontiers of test technology, experimental verification. Part of item 3 of this paper (transparent, calculable arrangements) should be the deliberate provision for well defined accessible *test points*. An example is the measurement of the deflection of large diameter laminated structures. Calculations are unusually uncertain. Change in the diameter from flat down to upright position can be measured; these measurements can be used to improve the predictive calculations. Partial and synthetic testing of electric machines gain in importance, because of economics with test machinery, as we progress to get larger machines.

J. Szogyen, Glen Ridge, USA

Stellungnahme des Autors

Herrn *Szogyen-Delmar* möchte ich herzlich für den Diskussionsbeitrag danken. Dieser zeigt neben anderen Zuschriften, die ich direkt erhielt, dass die im Aufsatz geäusserten Gedanken und Regeln ein weites Echo fanden.

Die vom Einsender geforderte Fähigkeit des guten «designers», verschiedene Fachgebiete zu überblicken und flexibel wie praxisnah zu wirken, halte auch ich als in der Industrie tätiger Ingenieur für erstrebenswert. Die Komplexität heutiger Techniken bringt es aber mit sich, dass Entwicklungen nicht von einem oder wenigen Sachverständigen getragen werden, sondern auf die Zusammenarbeit vieler Fachleute angewiesen sind. Allerdings darf das Spezialistentum nicht zu weit getrieben werden; und so ist beispielsweise mein Aufruf an den Ingenieur-Theoretiker, sich bei der Problemlösung auch konstruktiv-gestalterischer Mittel zu bedienen, heute aktueller denn je.

Jeder grössere Entwicklungsschritt bringt eine Betonung gewisser Phänomene und auch neue Probleme, die immer auf geeignete Weise gemeistert werden können. Neue Techniken dürfen nicht nur an solchen Hürden beurteilt werden, sondern ebenso an den eingebrachten Vorteilen, sonst hätte beispielsweise die Wasserstoffkühlung bei elektrischen Maschinen schwerlich Eingang gefunden. So kann auch der zitierten Rotor-Wasserkühlung bei Grossmaschinen eine Reihe von Vorteilen gegenüber der Gaskühlung zugesprochen werden, wie z. B. die niedrigeren Wicklungstemperaturen (geringere Relativdehnungen, höhere Laufgüte ...) und die kürzeren Rotorlängen (günstigeres Biege- und Torsionsverhalten). Durch die Wasserkühlung ist auch erst die Voraussetzung für eine weitere Steigerung der Einheitsleistungen bei Grösstmaschinen gegeben. Übrigens ist die spezifische Leistung, d. h. die Ausnützungsziffer c, bei vierpoligen Turbogeneratoren mindestens gleich gross oder sogar leicht höher als bei zweipoligen Ausführungen.

Der abschliessend vorgebrachte Gesichtspunkt, nichtberechenbare Einflüsse über Messungen zu erfassen und sich stückweise einer gesunden Empirie zu bedienen, zeugt von der Erfahrung des Einsenders in der Lösung konkreter technischer Aufgaben.

G. Neidhöfer, 5401 Baden

Literature

[1] Kesselring; Technische Kompositionslehre; Springer Verlag; Berlin 1954.
[2] Wiedemann/Kellenberger; Konstruktion Elektrischer Maschinen; Springer Verlag; Berlin 1967.
[3] IEEE paper #A-77-042-5; Wallenstein e.a.; New Developments For Hydrogen Rotor Cooling.
[4] IEEE Transactions PAS-89 November/December 1970; Vol. 89 pages 1935–1945; P.A. Asztalos: Direct Cooling Systems For Turbo-Alternator Rotors.

«Die Bedeutung von Verlustfaktormessungen bei der Wartung der Hochspannungswicklung von Turbogeneratoren»
[Bull. SEV/VSE 68(1977)14, S. 710...713]

Zuschrift Nr. 1

H. Teichmann berichtet über Verlustfaktormessungen an mehreren Statorwicklungen von Generatoren und kommt auf Grund der Auswertung der Messresultate zum eindeutigen Schluss, dass diese Methode im Zusammenhang mit der Beurteilung des Isolationssystems solcher Maschinen ungeeignet sei. Dieser vereinfachten Schlussfolgerung kann in dieser Form nicht zugestimmt werden.

Bereits in den dreissiger Jahren wurden von uns Verlustfaktormessungen an Statorwicklungen von Hochspannungsmaschinen durchgeführt. Seither liegen für verschiedene Maschinentypen und Isoliersysteme langjährige Erfahrungswerte vor [1][1]). Diese zeigen, dass bei systematischer Durchführung aus den Messresultaten wertvolle Informationen über das Verhalten der Isolierung im Aktivteil gewonnen werden können. Die Messung erfolgt dabei zweckmässigerweise an den einzelnen Wicklungssträngen getrennt in Funktion einer stufenweise erhöhten Fremdspannung im Bereich von 0,1...1,0-facher Maschinennennspannung. Bewertet werden dabei in erster Linie der Verlustfaktorwert bei 0,1 U_n ($\mathrm{tg}\,\delta_{0,1\,U_n}$) und die grösste Verlustfaktoränderung pro Spannungsstufe ($\Delta\mathrm{tg}\,\delta/\Delta U$). Der Messbeginn bei kleiner Spannung ist wichtig, um alle spannungsabhängigen Einflüsse (herrührend von den üblicherweise vorhandenen, spannungsabhängigen Widerstandsbelägen zur Potentialsteuerung am Austritt der Wicklungselemente aus dem Statoreisen und um möglichst unterhalb der Glimmeinsatzspannung zu bleiben) kleinzuhalten. Die Bestimmung der Verlustfaktoränderung für *kleine* Spannungsstufen hat den Zweck, im Gegensatz zur beschriebenen Differenzauswertung über den gesamten Meßspannungsbereich, physikalisch bessere Vorstellungen zu erhalten über die Ursache der spannungsabhängigen Verlustfaktoränderungen.

Im Zusammenhang mit Unterhaltskontrollen von im Betrieb stehenden Maschinenwicklungen geht es nun vor allem darum, die im Laufe der Betriebszeit erhaltenen Verlustfaktorwerte *relativ* miteinander zu vergleichen. Sind keine Messwertänderungen im Verlaufe der Betriebszeit erkennbar, kann gefolgert werden, dass keine

[1]) Siehe Literatur nach der Stellungnahme des Autors.

wesentlichen Eigenschaftsänderungen der Isolierung aufgetreten sind. In den meisten Fällen werden jedoch in Funktion der Betriebszeit unterschiedliche Messwerte erhalten, deren Interpretation nicht einfach ist und die Kenntnis des genauen Isoliersystemaufbaues voraussetzt. So ist beispielsweise bei duroplastischen Kunstharzisolierungen im Laufe der Betriebszeit normalerweise eine Abnahme des Wertes $\mathrm{tg}\,\delta_{0,1\,U_n}$ festzustellen, was in erster Linie auf Nachhärtungseffekte des Kunstharzes zurückzuführen ist und im Hinblick auf die Betriebssicherheit der Maschinenwicklung nicht von wesentlicher Bedeutung ist. In einzelnen Fällen konnte aber auch schon ein deutlicher Anstieg dieses Kennwertes festgestellt werden, dessen Ursache, nach genauerer Untersuchung, im nicht richtigen Funktionieren des auf der Isolationsoberfläche angebrachten Potentialbelages im Nutbereich der Wicklungselemente begründet lag. Hier lieferte die Verlustfaktormessung also eine für die Betriebssicherheit der Maschine wesentliche Information. Bei den thermoplastischen Micafoliumisolationen findet man im allgemeinen schon nach kurzer Betriebszeit eine deutliche Zunahme des Wertes $\Delta\mathrm{tg}\,\delta/\Delta U$, was hauptsächlich auf ein leichtes Aufgehen dieser Isolationen in der Nut bei höheren Temperaturen je nach dem Einbauspiel zurückzuführen ist. Im Laufe der Betriebszeit kann sich dieser Kennwert weiter vergrössern oder auch wieder abnehmen, als Folge der durch die Glimmentladungen entstandenen Abbauprodukte, die die entstandenen Gasstrecken teilweise wieder überbrücken. Je nach vorhandener Isolationsart, dem vorliegenden Wicklungsaufbau (Spulen- oder Einzelstabwicklung) wird man an Hand der Art der zeitlichen Messwertänderungen auf Grund der Verlustfaktormessung wertvolle Informationen über mögliche Eigenschaftsänderungen in der Isolation erhalten. Die mögliche Lebensdauererwartung kann daraus jedoch nicht direkt abgeleitet werden, dazu sind noch weitere Faktoren mitzubewerten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es offensichtlich nicht möglich ist, einfach «kritische» Grenzwerte für die Verlustfaktor-Kennwerte zu definieren. Die Verlustfaktormessung kann anderseits aber Änderungen im Isoliersystem durchaus anzeigen, wobei jeweils von Fall zu Fall geprüft werden muss, unter Berücksichtigung aller Randbedingungen, ob die Messwertänderungen auf normale oder betriebsgefährdende Einflüsse zurückzuführen sind.

Daher empfiehlt es sich, bei Kontrollen von rotierenden Hochspannungsmaschinen in grösseren zeitlichen Abständen (z.B. im Neuzustand, nach dem ersten Betriebsjahr und später ca. alle 3 bis 5 Jahre) auch die mit wenig Aufwand durchführbare Verlustfaktormessung ins Untersuchungsprogramm einzubeziehen. Allerdings genügt es dabei nicht, nur auf dieses Resultat abzustellen, sondern die Isolations- bzw. Wicklungsuntersuchung ist durch weitere Prüfungen und Kontrollen zu ergänzen, wie dies schon früher vorgeschlagen wurde [1]. Die seither gewonnenen Erfahrungen an mehreren hundert auf diese Weise untersuchten Maschinen zeigen, dass es damit möglich ist, betriebsgefährdende Schwächungen im Isoliersystem rechtzeitig zu erkennen und zu beheben, so dass überraschend auftretende Maschinendefekte im Betrieb heute weitgehend vermieden werden können.

R. Schuler, BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie AG, 5242 Birr

Zuschrift Nr. 2

This is interesting work. The high voltage windings of turbogenerators must, for best results, be considered consumable items in the overall economy of the machine. The major parameters are temperature, voltage and time duration of exposure. Examples may be on the one hand machines with high magnetic and electrical loading, high output, relatively low first cost and relatively short insulation life, on the other hand machines with lower magnetic and electrical loading, lower output, relatively high first cost and relatively long insulation life.

I agree with the author that for the cases handled in his work and for the method used the loss angle approach is not useful. Yet it can be made useful by a simple extension. I have done it with moderate success many years ago. In addition to the loss angle spanning 0.4 times and 1.2 times rated voltage it should be determined for at least another 2 ranges, e.g. 0.4 to 0.8 times and 0.8 to 1.2 times. Naturally if instead of these some other additional ranges or nearly continuous series are also handled, then that may lead to better understanding of the nature and distribution of the various different kinds of discharge and dielectric phenomena. As I recall, in some instances this approach gave the earliest warning about deterioration of the insulation. The loss angles in the lower voltage regions were OK, but in the higher voltage region they were substantially elevated over the initial values. It was also found that these machines operated at higher winding temperatures than other identical machines. Orderly, timely, anticipatory replacement of the coils followed.

Advocates of loss angle measurements include *Meyer* [2], who describes the maximum increase in loss angle as a function of voltage. The setting of acceptance limits in terms of loss angle is of dubious value. Rather, the significant indicator is the change (as a result of length of service) in the voltage at which loss angle increases sharply. These considerations apply to synthetic resin insulation also because they too deteriorate with long time exposure to the stress and strain of high voltage gradients and high temperatures.

J. Szogyen, Glen Ridge, USA

Zuschrift Nr. 3 (Auszug aus einem Schreiben an den Autor)

Ihre Veröffentlichung im Bulletin SEV/VSE habe ich mit Interesse gelesen und mich sofort an Ihre früheren Untersuchungen an Asphalt-Wicklungen der GE erinnert. Offenbar unterscheidet sich die Bewertungsmethode Ihres Berichtes nur darin von der unsrigen, dass Sie den Gesamtanstieg des Verlustfaktors in einem weiten Spannungsbereich heranziehen, während wir in der Regel den maximalen Anstieg als Kriterium verwerten. Das ist in [3] bei einer umfangreichen Auswertung an Schellack-Mikafolium-Isolierungen geschehen.

Leider hatte ich nur selten Gelegenheit, Asphalt-Isolierungen in grossem Umfang zu prüfen, kann aber von den wenigen Fällen, die mir begegnet sind, sagen, dass sie im Ergebnis den von Ihnen beschriebenen Resultaten sehr ähnlich sind.

Dr. *A. Wichmann,* Kraftwerk Union, D-4330 Mülheim

Stellungnahme des Autors

Einleitend sei bemerkt, dass die vorliegenden Untersuchungen nicht nur an mehreren, sondern vielmehr an rund 80 Statorwicklungen durchgeführt wurden. Die 94 Messreihen wurden aus einer mehrfach grösseren Anzahl ausgewählt, um nur Maschinen mit ähnlichem Aufbau einzubeziehen. So wurden z.B. Generatoren mit Luftkühlung oder Spulenwicklung nicht berücksichtigt, damit etwa vorhandene Gesetzmässigkeiten nicht durch andere Einflüsse überdeckt würden.

Die Stellungnahme von Herrn Schuler betrifft zunächst die Durchführung und im weiteren die Interpretation der Verlustfaktormessung. Die Messungen erfolgten an den einzelnen Wicklungssträngen in Funktion der stufenweise erhöhten Meßspannung, und zwar im Bereich der 0,2...1,2fachen Phasenspannung. Der im Aufsatz angegebene untere Wert (0,4fache Phasenspannung) wurde deswegen für die weitere Auswertung gewählt, weil der $\mathrm{tg}\,\delta$ hier mit grösserer Sicherheit bekannt war als im Anfangspunkt der Kurve. Auf die Einbeziehung des ersten Messpunktes wurde also bewusst verzichtet.

Die *Durchführung* der Messungen entsprach somit weitgehend der von Herrn Schuler vorgeschlagenen Methode. Unbestritten ist auch, dass bei Unterhaltskontrollen von im Betrieb stehenden Maschinenwicklungen die im Laufe der Betriebszeit ermittelten Werte zu vergleichen sind. In der vorliegenden Untersuchung werden gerade solche Kurven mittels der Hilfsgrösse $\Delta\mathrm{tg}\,\delta$ verglichen, um etwaige Tendenzen zu ermitteln.

Unterschiedliche Auffassungen bestehen also im wesentlichen in bezug auf die *Interpretation* der Verlustfaktormessung. Wie mir inzwischen berichtet wurde, hegt auch das für den Unterhalt verantwortliche Kraftwerkspersonal häufig Zweifel an der geübten Praxis. Kennzeichnend für die Problematik ist z.B., dass der Kennwert $\Delta\mathrm{tg}\,\delta/\Delta U$ bei fortschreitender Hohlraumbildung zunehmen oder durch Kurzschliessen der Hohlräume abnehmen kann. Hier überlagern sich also zwei Vorgänge mit entgegengesetzter Wirkung, die sich unter Umständen gerade aufheben können.

Mulhall [4] berichtet, dass die Wicklung eines Generators durch einen Fehler während der Prüfung kurzfristig in unzulässiger Weise erwärmt wurde. In der Folge entwickelten sich Hohlräume von solcher Grösse, dass sie bei der Verlustfaktormessung nicht mehr ionisiert wurden. Dieser Schaden verursachte keinen Anstieg des tg δ, welcher im Gegenteil sogar «besser» wurde.

An anderer Stelle [5] wird festgestellt, dass der Einfluss der Kopfisolation, der Verschmutzung und des Feuchtigkeitsgrades nur schwer von der eigentlichen Alterung getrennt werden kann. Die zwangsläufigen Ungenauigkeiten machen unter Umständen ein Mehrfaches der Veränderung durch Alterung aus. Wenn auch die Verschmutzung bei Turbogeneratoren mit Wasserstoffkühlung nur selten extreme Ausmasse annimmt, erscheint doch eine sinnvolle Interpretation der Messergebnisse kaum möglich.

J. Szogyen nennt die thermische und elektrische Beanspruchung als wichtigste Parameter für die Alterung der Isolation. Hier sollte die dynamische Beanspruchung nicht fehlen, deren Auswirkungen von *Krauss* [6] beschrieben werden. Der angedeutete Zusammenhang zwischen Ausnützung und Lebensdauer der Isolation gilt wohl in erster Linie für Motoren und kleinere Generatoren. Die vorliegende Untersuchung bezieht sich jedoch auf wasserstoffgekühlte Turbogeneratoren, deren Lebensdauer stets mit derjenigen der zugehörigen Dampfturbine abzustimmen ist. Damit ergeben sich im allgemeinen hohe Anforderungen, welche keinen Kompromiss zulassen.

Interessant ist das Beispiel von der Beurteilung der Isolationsschwächung durch Übertemperatur mit Hilfe der Verlustfaktormessung, die dem erwähnten Beispiel von *Mulhall* [4] widerspricht. *Wichmann* [3] weist darauf hin, dass bei Untersuchungen an alten Maschinen Stäbe und Wicklungen mit einem auffallend niedrigen Verlustfaktor bei Prüfspannungen unterhalb der Glimmeinsatzspannung die geringste elektrische Festigkeit hatten und auch die stärksten sichtbaren Zerstörungen zeigten, während höhere Verlustfaktoren mit noch beinahe ausreichender elektrischer Festigkeit auftraten. Der Entschluss zur Neuwicklung eines Stators sollte sich daher in erster Linie auf eine sorgfältige visuelle Kontrolle und das Ergebnis einer Überspannungsprüfung stützen. Die Zuverlässigkeit einer Statorwicklung kann übrigens in gewissen Fällen schon durch Auswechseln einzelner Stäbe wiederhergestellt werden [7].

Die Frage der Einhaltung bestimmter tg δ-Werte bezieht sich nur auf neu gefertigte Isolationen. Bei der Beurteilung der tg δ-Kurve von in Betrieb stehenden Generatoren ist zu beachten, dass die im Rahmen des Alterungsprozesses gebildeten Hohlräume durch die beim Glimmen erzeugten Abbauprodukte überbrückt werden können, was die Interpretation erschwert. Dazu kommt, dass anderweitige Ungenauigkeiten ein Mehrfaches der zu ermittelnden Änderung durch Alterung ausmachen können [5].

A. Wichmann äussert sich ebenfalls zur Interpretation der Verlustfaktormessung. Die von ihm gewählte Methode, nämlich die Beurteilung des maximalen Anstieges der Kurve, entspricht dem von *R. Schuler* und *J. Szogyen* vorgeschlagenen Verfahren. In der vorliegenden Untersuchung wurde deswegen der Gesamtanstieg Δtg δ für einen gewählten Spannungsbereich herangezogen, um eine Vielzahl von Kurven vergleichen zu können.

H. Teichmann, 1896 Vouvry

Literatur

[1] *R. Schuler:* Die Beurteilung des Isolationszustandes von Statorwicklungen. Bull. SEV 60(1969)17, S. 777...785.
[2] *H. Meyer:* Die Isolierung grosser elektrischer Maschinen. Berlin, Springer 1962.
[3] *A. Wichmann:* Alterungsmerkmale von Isolierungen elektrischer Maschinen und Folgerungen für den Wicklungsaufbau. ETZ-A Bd. 84(1963)24, S. 827...835.
[4] *V. R. Mulhall and P. Lonseth:* Resin rich tape system properties to match the increasing requirements of HV stator insulation. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vancouver/Can., July 15...20,1973; Paper C 73312–6.
[5] *K. Nylund und Th. Mosimann:* Alterungsuntersuchungen an Statorwicklungen elektrischer Maschinen. Bull. SEV 58(1967)17, S. 810...818.
[6] *O. Krauss:* Die Revision von Turbogeneratoren. Der Maschinenschaden 43 (1970)6, S. 213...225.
[7] *H. T. Teichmann:* Improved Maintenance Approach for Large Generator Armature Windings Subject to Insulation Migration. IEEE Trans. PAS 92(1973)4, p. 1234...1238.