Mess- und Prüftechnik an Hochspannungs-Isolationen

Autor(en): **Seitz, P.**

Objekttyp: **Article**

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): **73 (1982)**

Heft 24

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905050

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

rung des Fehlers ist nur post mortem durch Auswertung von aufgezeichneten Verläufen von Spannungen und Strömen möglich. Schätzmethoden unter Benutzung des Wanderwellenmodells des Kabels, die auf einem Computer zu implementieren sind, erlauben eine solche Lokalisierung. Die Voraussetzung ist jedoch die Aufzeichnung von Strom und Spannung an den Kabelenden, was nicht von vorneherein gegeben ist.

7. Schlussbetrachtungen

Der Schutz von Kabelanlagen lässt sich mit den heute zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln und dem Gerätesortiment befriedigend bewerkstelligen. Die Eigenheiten des Kabels lassen sich bei der Einstellung der Schutzrelais ohne weiteres berücksichtigen. Schwierigkeiten machen eher prinzipielle Gegebenheiten der Kabelanlagen, wie die Erdschlusslöschung bezüglich Erdschlussanzeige und Bereinigung eines Doppelerdschlusses.

Die Grundlagen für die Auslegung eines Überspannungsschutzes von Kabelanlagen sind seit langem bekannt. Neue Gesichtspunkte sind durch die Einführung von funkenstreckenlosen Überspannungsableitern hinzugekommen, die jedoch die Aufgabe technisch eher erleichtert haben.

Literatur

[1] *H. Happoldt, D. Oeding:* Elektrische Kraftwerke und Netze, 5. Auflage 1978, Springer.

[2] *M. Christoffel:* Der Einfluss von Kabelstrecken auf die Überspannungsvorgänge in Übertragungsnetzen mittlerer und hoher Spannung, Brown-Boveri-Mitteilungen, 51(1964)6, S. 369.

Adresse des Autors

Dr. *H. Glavitsch*, Professor am Institut für elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH, Gloriastrasse 35, 8092 Zürich.

Mess- und Prüftechnik an Hochspannungs-Isolationen

Von P. Seitz

Teilentladungsmessungen an installierten Kabelsystemen sind mit externen Spannungsspeisungen möglich. Mit einer Brückendetektor-Schaltung können Pegel von 5 pC an dreiphasigen Systemen gemessen werden. Verlustfaktormessungen im Feld können mit einer Differentialtransformator-Brücke und modernen, elektronisch kompensierten Stromwandlern mit Netzspannung durchgeführt werden. Wenn neu zu installierende Kabelsysteme mit isoliertem Schirm ausgeführt werden, können Verlustfaktormessungen während des Betriebes durchgeführt werden, oder es besteht sogar die Möglichkeit, ein Verlustfaktor-Überwachungssystem als dauerndes Isolations-Überwachungsgerät einzusetzen.

Des mesures de décharges partielles sur des systèmes de câble installés peuvent être effectuées avec des alimentations en tension externes. Une connexion avec détecteur en pont permet de mesurer des niveaux de 5 pC sur des systèmes triphasés. Les facteurs de perte sur place peuvent être mesurés avec un transformateur différentiel en pont et des transformateurs de mesure modernes à compensation électronique et avec la tension du secteur. En réalisant de nouveaux systèmes de câble avec écran isolé, les facteurs de perte peuvent être mesurés pendant l'exploitation ou il est même possible d'employer un système de contrôle pour facteurs de perte en tant qu'instrument de contrôle permanent d'isolation.

1. Teilentladungsmessungen am Hochspannungskabel im Labor

Teilentladungsmessungen an Kunststoffkabeln werden normalerweise in einem abgeschirmten Raum (Faraday-Käfig) vorgenommen. Der Teilentladungspegel muss nach IEC-Empfehlungen weniger als 5 pC betragen [1; 5]. Solche Empfindlichkeiten können nur in einem abgeschirmten Raum zuverlässig erreicht werden. Die Störunterdrückung für magnetische Einflüsse muss mindestens 80 dB betragen [8], damit in normalen Industrieanlagen vernünftig gemessen werden kann. Elektronische Störunterdrückungsmethoden haben sich in der Praxis bis heute nicht bewährt. Für Teilentladungsmessungen kennt man zwei Methoden. Die ältere der beiden Methoden nennt man die Geradeaus-Detektor-Methode [1] (s. Figur 1). Für diese Methode benötigt man eine Hochspannungsspeisung mit sehr kleiner Eigenteilentladung. Um dies zu erreichen, ist der Speisung normalerweise ein Hochspannungsfilter (Tiefpass) nachgeschaltet, das die Störungen des Hochspannungstransformators weiter abschwächt auf einen Eigenteilentladungswert von weniger als 1 pC.

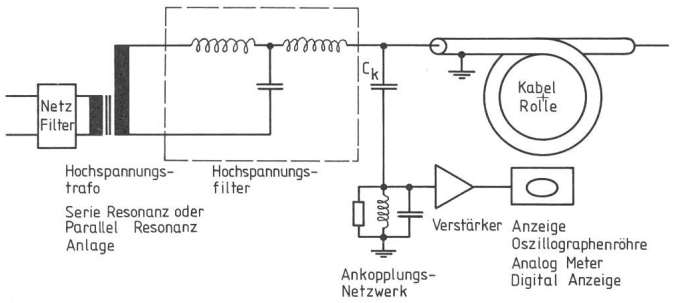

Fig. 1 Einfache Verstärkermethode (Straight Detector)

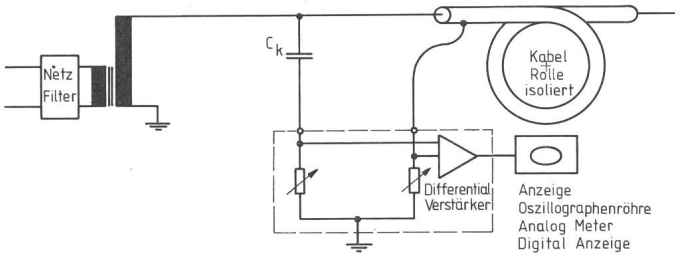

Fig. 2 Brückenmethode (Bridge Methode)

Die Brückendetektor-Methode nach Fig. 2 hat den Vorteil, dass die Speisung nicht absolut teilentladungsfrei sein muss [1]. Die direkte Kopplung des Kabels an den Brückeneingang bewirkt eine bessere Empfindlichkeit des Brückendetektors. Die Figuren 3 und 4 zeigen die maximal erreichbaren Empfindlichkeiten in Funktion der Prüflingskapazität für beide Methoden. Die angegebenen Werte überragen das Rauschen des Eingangsverstärkers um einen Faktor 2.

Damit die Kabelenden keine Teilentladung erzeugen, müssen sie mit einem geeigneten Prüf-Endverschluss abgeschlossen werden. Für Kabel mit kleinen Spannungen bis etwa 10 kV haben sich Endverschlüsse aus halbleitendem Kunststoffmaterial oder halbleitendem Band bestens bewährt. Für höhere Spannungen kommen nur Endverschlüsse, die Öl oder Wasser als Isolationselemente für den Spannungsabbau verwenden, in Frage. Endverschlüsse, die Öl als Isolationsmedium verwenden, sind im Prüffeld schwierig zu handhaben. Nach der Prüfung muss das Kabel gereinigt werden, und nach längerer Benützung solcher Endverschlüsse ist das Prüffeld vom Öl nicht mehr sauber zu bringen. Darum verwendet man in der Praxis Wasser-Endverschlüsse für die Prüfung von Hochspannungskabeln. Figur 5 zeigt den Aufbau eines mit Wasser betriebenen Kabelendverschlusses.

Eine einigermassen lineare Verteilung des Feldes am Ende des Kabels erreicht man dank dem Wasserwiderstand und dem hohen Kapazitätskoeffizienten ε des Wassers, der ungefähr 80mal grösser als Luft ist. Die Durchschlagsfestigkeit des deionisierten Wassers ist sehr viel grösser als die Kabelisolation. Damit sich im Wasser keine Luftblasen bilden, wird mit einem Betriebsdruck von ungefähr 1 bar gearbeitet. In einer Wasseraufbereitungsanlage wird das Wasser gekühlt und mit einem gemischten Kationen-Anionen-Harz im Durchlaufverfahren deionisiert. Mit dieser Methode erreicht man einen spezifischen Wasserwiderstand von bis zu 10 MΩcm. Die Verlustleistung der Endverschlüsse ist temperaturabhängig, da der spezifische Widerstand mit höherer Wassertemperatur sinkt. Die Verlustleistung für zwei Endverschlüsse mit einer Betriebsspannung von 300 kV beträgt etwa 30 kW. Für die Verwendung von Wasser-Endverschlüssen gibt es eine obere Grenze der Betriebsspannung, die bei etwa 800 kV liegen dürfte, da die Verlustleistung mit dem quadratischen Wert der angelegten Spannung steigt. Die Eigenteilentladung von Wasser-Endverschlüssen erreicht Werte von weniger als 1 pC mit Prüfspannungen bis 400 kV.

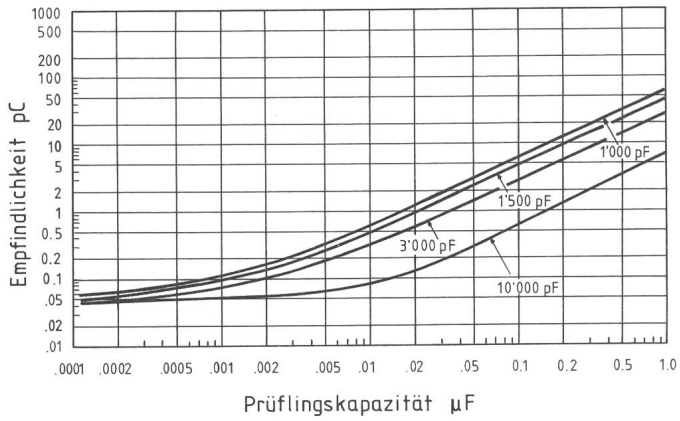

Fig. 3 Empfindlichkeitskurve eines Straight-Detektors mit verschiedenen Kopplungskondensatoren

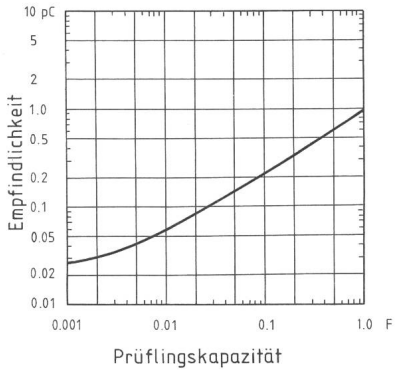

Fig. 4 Empfindlichkeitskurve eines Brückendetektors

2. Teilentladungsmessungen an installierten Kabelsystemen im Feld

Teilentladungsmessungen an Kabelsystemen im Feld sind mit grossen Umtrieben verbunden. Normalerweise müssen Kabel bis zu 2 km Länge gemessen werden. Die Prüflingskapazität erreicht Werte von 0,1 bis zu mehreren µF. Die Verwendung des Netzes selber als Prüfspannung kommt nicht in Frage, da die Störimpulse von Thyristorsteuerungen eine empfindliche Messung unmöglich machen. Hochspannungsnetzfilter von sehr hoher Abschwächung können die grossen Einschaltstromstösse nicht aushalten, die beim Einschalten der Kabelanlage entstehen.

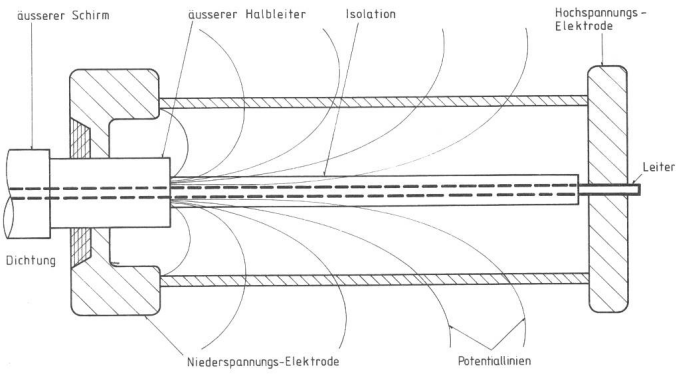

Fig. 5 Wasser-Endverschluss

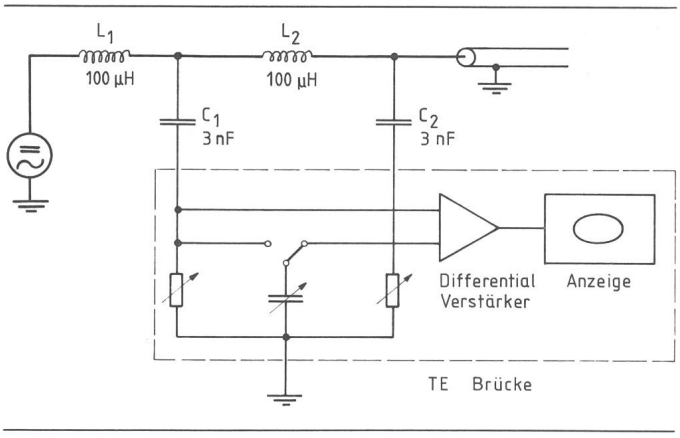

Fig. 6 Brückenschaltung zur Teilentladungs-Messung eines Prüflings mit Unterdrückung der Eigenteilentladung der Speisung

Darum verwendet man für die Prüfung der Teilentladung im Feld normalerweise eine Gleichstromspeisung, eine Resonanzanlage mit Netzfrequenz oder eine 0,1-Hz-Wechselstromspeiseanlage. Als Messeinrichtung kommt nur eine Brückenschaltung in Frage, da die magnetisch eingestreuten Störungen eine Messung mit einem Geradeaus-Dektektor unmöglich machen. Figur 6 zeigt eine Brückenschaltung, mit deren Hilfe geerdete Kabel gemessen werden können.

Die Kondensatoren C_1 und C_2 sind Kopplungskondensatoren, die die Brücke von der Hochspannung isolieren. L_1 und L_2 ist eine Luftspule mit einer Induktivität von 100 µH, die den Strom der Speisung aushalten muss. Mit dieser Schaltung können Störungen, die von der Speisung kommen, unterdrückt werden. Die meisten Hochspannungskabel sind aber dreiphasig ausgeführt. Für diese Kabel eignet sich besonders die Schaltung nach Fig. 7.

Mit dieser Schaltung werden die Störungen der Speisung und magnetische Fremdfeldeinflüsse unterdrückt. Messungen im Feld an drei Phasensystemen in den USA ergaben Störpegel von weniger als 5 pC, in einigen Fällen sogar weniger als 2 pC, für Kabellängen bis 400 m [6].

Die Teilentladungsmessung an installierten Kabeln ist als Qualitätskontrolle der Verlegung unersetzbar. Sie kann Fehler, die von mechanischer Beschädigung beim Verlegen herrühren, ausfindig machen. Abgelöste Halbleiterschichten beim Verlegen von zu engen Radien oder Fehler in den Endverschlüssen können ebenfalls festgestellt werden. Für diese Qualitätskontrolle ist es unwichtig, was für eine Speisung verwendet wird. Die Empfindlichkeit der TE-Messung ist nicht abhängig von der Wahl der Speisespannung (Gleichstrom oder Wechselstrom), sondern allein vom erreichbaren Störpegel. Darum muss der grösste Aufwand für die Unterdrückung der Störungen aufgewendet werden. Als Spannungsquelle ist die Gleichstromspeisung die kostengünstigste Variante. Die netzbetriebenen Resonanzanlagen mit einstellbarem Luftspalt sind für Feldmessungen nicht geeignet, da sie ein zu grosses Gewicht für den Transport aufweisen. Sollten sich Resonanzanlagen [9] mit fixer Induktivität und variabler Frequenz soweit entstören lassen, dass TE-Störpegel von weniger als 5 pC auftreten, dann wären diese ein willkommener Ersatz der Gleichstromspeisung. Die 0,1-Hz-Speiseanlagen haben sich in der Praxis für TE-Messungen an Kabeln mit grossen Kapazitäten und höheren Spannungen nicht bewährt. Grosse Probleme ergeben sich beim Nachbilden der abfallenden Flanke der Sinus-Kurvenform. Diese Kurvenform wird mit umschaltbaren Entladewiderständen erzeugt, die bei der TE-Messung Störungen hervorrufen.

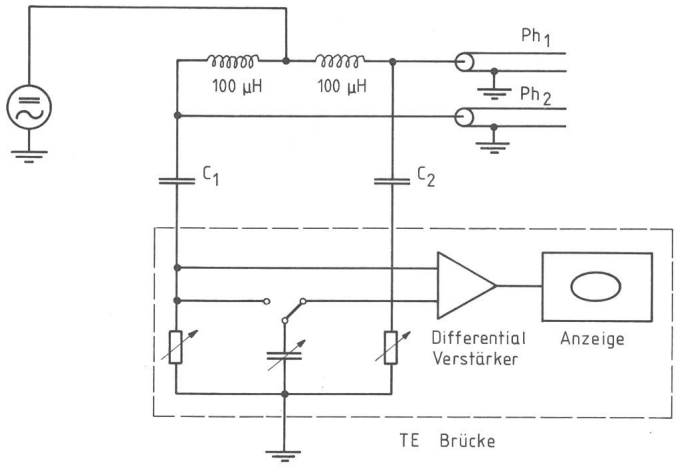

Fig. 7 Brückenschaltung zur Teilentladungs-Messung (zwei separat verlegte Phasen mit Unterdrückung der Eigenteilentladung der Speisung und der elektromagnetischen Einstreuungen ins Kabel)

3. Verlustfaktormessungen am Hochspannungskabel im Labor

Verlustfaktormessungen an Hochspannungskabeln werden meistens mit der klassischen Scheringbrücke vorgenommen. Als Normal dient ein Pressgaskondensator mit einem Verlustfaktor von weniger als 10^{-5}. Für kurze Kabelmuster kann mit dieser Messeinrichtung eine Genauigkeit von $5 \cdot 10^{-5}$ erreicht werden. Müssen hingegen ganze Kabelrollen in der Endprüfung geprüft werden, so benötigt man als Zusatzgerät einen Shunt oder einen Stromwandler. Die Widerstände in der Scheringbrücke können den kapazitiven Strom des Kabels nicht mehr bewältigen. Diese Zusatzgeräte verringern aber die Messgenauigkeit des Verlustfaktors um einen Faktor 10 auf einen Wert von $5 \cdot 10^{-4}$ (siehe Fig. 8).

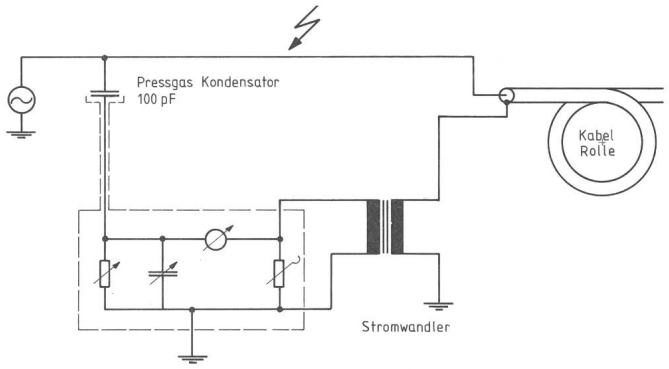

Fig. 8 Scheringmessbrücke mit Stromwandler

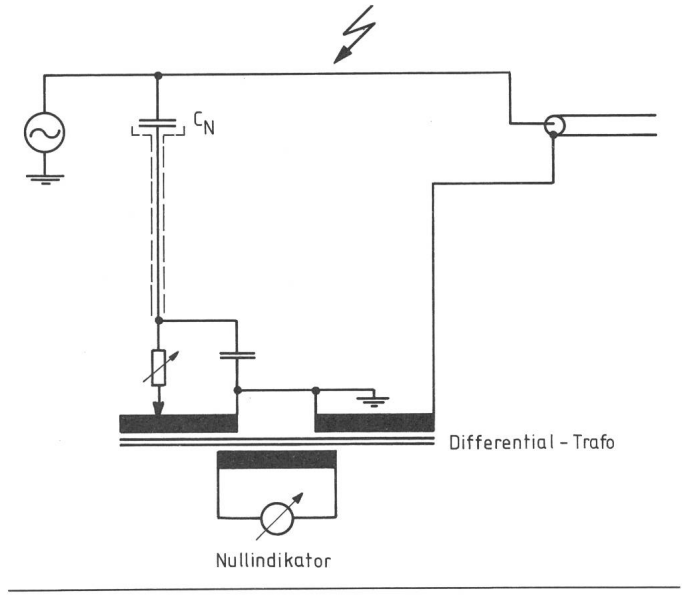

Fig. 9 Differential-Transformatorbrücke

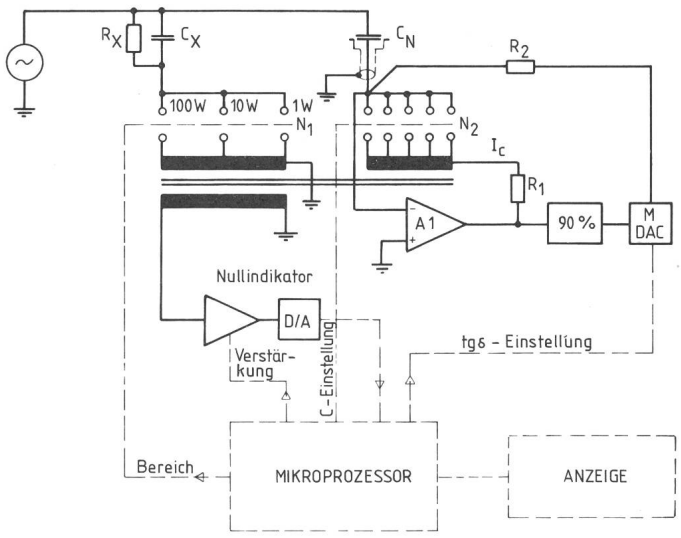

Fig. 10 Mikroprozessorgesteuerte Kapazitäts- und tgδ-Messbrücke

Diese Genauigkeit genügt für die Messung von Öl-Papier-Isolationen vollauf. Für die Messung von Kunststoffisolationen ist die Genauigkeit aber ungenügend. Polyäthylen hat einen Verlustfaktor von etwa $5 \cdot 10^{-4}$. Um diese Messgenauigkeit bei grossen Strömen zu erreichen, ist ein anderes Messprinzip zu wählen. Für manuelle Messungen an Kabelrollen verwendet man eine Differential-Transformer-Messbrücke (siehe Fig. 9).

Im abgeglichenen Zustand wird der magnetische Fluss im Kern annähernd Null, und damit erreicht man eine relativ hohe Übersetzungsgenauigkeit. Der einzige Fehler wird durch den Kupferwiderstand der Wicklung hervorgerufen. Mit dieser Messeinrichtung erreicht man eine Genauigkeit von $2 \cdot 10^{-5}$ im Verlustfaktor bei Messströmen bis zu 50 A. Für noch grössere Ströme verwendet man einen Zusatzstromwandler mit elektronischer Kompensation, einen sogenannten Stromkomparator. Der Stromkomparator hat einen Winkelfehler, der ungefähr einem tgδ-Fehler von $2 \cdot 10^{-5}$ entspricht. Diese hohe Genauigkeit erreicht man, wenn im Ringkern der magnetische Fluss auf annähernd Null kompensiert wird.

Verlustfaktormessungen mit dieser hohen Genauigkeit sind notwendig, damit man den spezifischen Widerstand der inneren und äusseren Halbleiterschicht über die ganze Fabrikationslänge des Kabels überprüfen kann. Der Verlustfaktor der Kunststoffisolation selber ist von sekundärer Bedeutung, da Verunreinigungen und Fremdkörper keine Vergrösserung des tgδ ergeben [6].

Für Verlustfaktormessungen bei Langzeitprüfungen an Kabeln verwendet man automatische Messeinrichtungen, die den Verlustfaktor tgδ digital anzeigen, damit man die Daten in Funktion der Zeit sammeln und auswerten kann (siehe Fig. 10).

Langzeitprüfungen des Verlustfaktors werden an Kabeln bei Nennstrom und erhöhter Temperatur vorgenommen, um die Diffundierung des Halbleiters mit der Isolation zu prüfen [6] und um eine allfällige Zunahme des spezifischen Widerstandes der Halbleiterschichten festzustellen.

4. Verlustfaktormessungen an Kabelsystemen im Feld

Verlustfaktormessungen an installierten Kabeln im Feld verursachen weitere Probleme. Normalerweise ist der Kabelschirm und die Halbleiterschicht geerdet [6] und kann nicht von Erde isoliert werden. Darum muss mit der Verlustfaktor-Messbrücke in der Schaltung für geerdete Objekte gemessen werden (siehe Fig. 11).

Für die Trennung der Messbrücke vom Hochspannungspotential muss der elektronisch kompensierte Stromwandler als isolierter Wandler ausgeführt werden. Mit dieser Messanordnung können Kabel von beliebiger Länge geprüft werden. Mit den nötigen Vorsichtsmassnahmen und über dimensioniertem Pressgaskondensator und Stromwandler kann das Netz als Prüfspannungsspeisung verwendet werden.

5. Isolationsüberwachungsanlagen an Kabelsystemen

Verlustfaktormessungen während des Betriebes sind durchführbar. Der Schirm des zu messenden Kabels darf je-

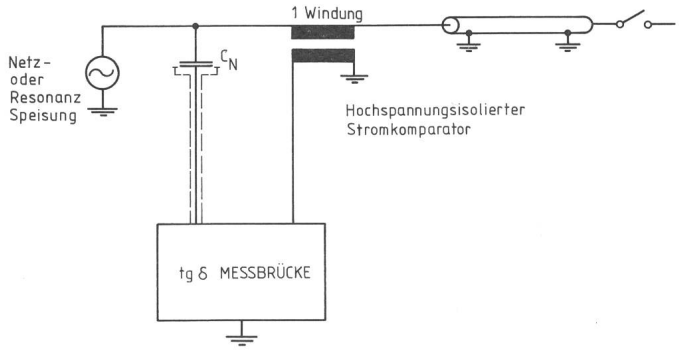

Fig. 11 tgδ-Messung an geerdetem Kabel

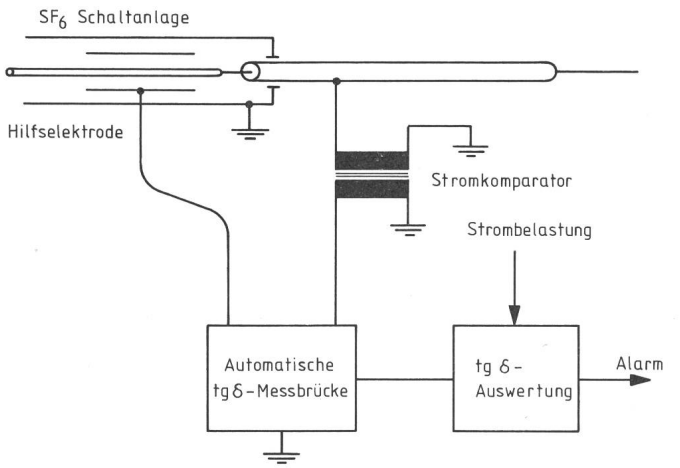

Fig. 12 Kabelüberwachung in Zusammenhang mit SF_6-Schaltanlagen

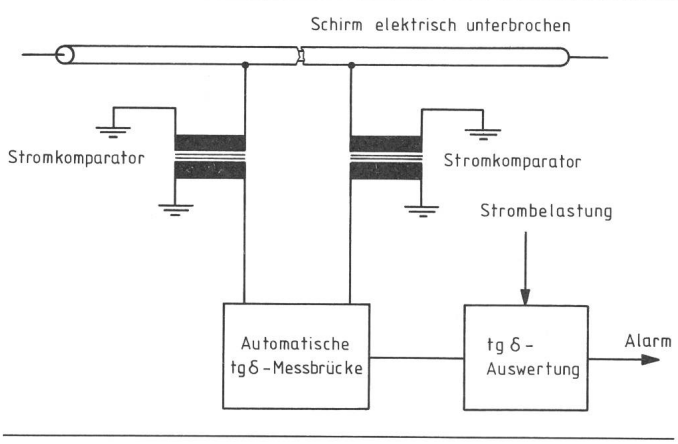

Fig. 13 Überwachung von Kabelabschnitten

doch nur an einem Punkt über einen Stromwandler geerdet werden (Fig. 12).

Mit einer solchen Messeinrichtung können Änderungen des Verlustfaktors von $5 \cdot 10^{-5}$ festgestellt werden. Für dreiphasige Systeme wird die automatische tgδ-Messbrücke umgeschaltet [11]. Die Strombelastung des Kabels muss bei der Verlustfaktor-Auswertung berücksichtigt werden. Die Strombelastung bewirkt einen Spannungsabfall über der Kabelstrecke, und dieser verändert den gemessenen Verlustfaktor. Ein solches Korrektursignal kann von den Schutzwandlern abgeleitet werden.

Eine weitere Methode ist der Verlustfaktorvergleich von Kabelabschnitten. Der Schirm des Kabels wird in Sektoren aufgeteilt. Jeder Sektor ist über einen Stromwandler geerdet. Mit einer tgδ-Messbrücke werden die einzelnen Sektoren verglichen (Fig. 13).

Literatur

[1] *H. Kreuger:* Discharge Detection Methods Recommended for Discharge Tests on Cables; CIGRE 1966, Paper No. 209.

[2] *G.S. Eager, G. Bader:* Discharge Detection in Extruded Polyethylene Insulated Power Cables; IEEE PAS 86 No. 1, Januar 1967.

[3] *R.F. Goossens:* Discharge Measurements in Long Lengths of Cable Prevention of Errors Due to Superposition of Travelling Waves; CIGRE 21-01, 1968.

[4] *G.S. Eager, G. Bader, D.A. Silver:* Corona Detection Experience in Commercial Production of Power Cables with Extruded Insulation; IEEE PAS 88 No. 4, April 1969.

[5] Recognition of Discharges; CIGRE, Electra No. 11.

[6] *G. Bader, G.S. Eager, R. Suarez:* In Service Evaluation of Polyethylene and Crosslinked Polyethylene Insulated Power Cables Rated 15 to 35 kV; IEEE PAS, Februar 1977.

[7] *Manfred Beyer:* Möglichkeiten und Grenzen der Teilentladungsmessungen und Ortung, Erfassung und Auswertung; ETZ-A, Bd. 99 H.3, 1978.

[8] Kabel-Prüffeld auf dem Spitzenstand der Prüf- und Messtechnik; Elektrische Energie-Technik, 24. Jahrgang No. 2, 1979.

[9] *F. Bernasconi, W. Zaengl, K. Vonwiller:* A New HV-Series Resonant Circuit for Dielectric Tests; International Symposium on High Voltage Engineering, Pub. 43.02, August 1979.

[10] *O. Petersons, W.E. Anderson:* A Wide-Range High Voltage Capacitance Bridge with one ppm Accuracy; IEEE, Vol. IM 24 No. 4, Dezember 1975.

[11] *P. Osvath, P. Seitz:* Microcomputer Controlled Transformer Ratio-Arm Bridge; International Symposium on High Voltage Engineering; Pub. 43.11, August 1979.

Adresse des Autors

P. Seitz, Tettex AG, Rotbuchstrasse 45, 8042 Zürich.

Nationale und internationale Organisationen
Organisations nationales et internationales

60 Jahre Pensionskasse Schweizerischer Elektrizitätswerke PKE

In Neuenburg konnte der Präsident der Verwaltung, Herr J.-J. Martin, Direktor der Société Romande d'Electricité, Clarens, am 29. Oktober 1982 die zahlreich erschienenen Delegierten, das Ehrenmitglied Dr. Fritz Wanner und die Vertreter des gastgebenden Werkes ENSA, Corcelles, zur 61. ordentlichen Delegiertenversammlung begrüssen.

In seiner Eröffnungsansprache ging der Präsident kurz auf die Entwicklung in den vergangenen 60 Jahren ein. 1922 waren 31 Unternehmungen mit 1862 Versicherten an der Kasse beteiligt, während heute 144 Unternehmungen mit 12 577 Versicherten und Rentenbezügern der PKE angehören.

Das vergangene Geschäftsjahr war wiederum durch eine Zunahme der Teuerung gekennzeichnet, verbunden mit einer überdurchschnittlichen Zunahme der versicherten Einkommen. Trotz Senkung des Rabattes von 40 auf 30 Prozent bei der Versicherung von Lohnerhöhungen mussten wiederum 2,4 Mio Franken dem Zinsausgleichsfonds entnommen werden.

Bei den Anlagen haben sich aufgrund der Wandlungen auf dem Kapitalmarkt bemerkenswerte Verschiebungen ergeben.

La Caisse de Pensions de Centrales Suisses d'Electricité (CPC) a 60 ans

A l'occasion de la 61e Assemblée ordinaire tenue le 29 octobre 1982 à Neuchâtel, le président de l'administration, Monsieur J.-J. Martin, directeur de la Société Romande d'Electricité, Clarens, a souhaité la bienvenue aux délégués, au membre d'honneur M. Fritz Wanner ainsi qu'aux représentants de l'entreprise-hôte ENSA, Corcelles.

Dans son allocution, le président a brièvement relevé l'évolution des 60 dernières années. En 1922, la CPC comptait 31 entreprises affiliées avec 1862 membres actifs, tandis qu'aujourd'hui ce sont 144 entreprises affiliées totalisant 12 577 membres actifs et bénéficiaires de rentes.

L'exercice écoulé a été à nouveau caractérisé par la poursuite de l'augmentation du coût de la vie, liée à une croissance des salaires assurés supérieure à la moyenne. En dépit d'une baisse du rabais, passant de 40 à 30%, concernant l'assurance des augmentations de salaire, il a fallu à nouveau retirer 2,4 millions de francs du fonds de compensation d'intérêts.