Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 56 (1965)

Heft: 5

Artikel: Methode zur Untersuchung des Fremdschichtverhaltens von Hochspannungsisolatoren unter Berücksichtigung der Selbstereinigungseigenschaften

Autor: Gion, L. / Meier, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916346

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

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

Methode zur Untersuchung des Fremdschichtverhaltens von Hochspannungsisolatoren unter Berücksichtigung der Selbstreinigungseigenschaften

Von *L. Gion* und *H. Meier*, Tarbes

621.315.62 : 621.3.027.3

Es wird ein Verfahren für künstliche Verschmutzung unter Berücksichtigung der Selbstreinigung beschrieben. Man erläutert diese Versuchsmethode am Beispiel von 4 Langstabilisatoren, deren Selbstreinigungseigenschaften und Verhalten bei Fremdschichtbildung untersucht werden.

On présente une méthode d'essai de pollution artificielle comportant une période de lavage par la pluie. On illustre cette méthode par un essai effectué sur 4 modèles d'isolateurs long fût, dont on étudie les propriétés d'auto-nettoyage et de résistance à la pollution.

(Übersetzung)

In Anbetracht der zahlreichen und verschiedenartigen Fremdschichtprobleme stösst man beim Entwurf neuer und verbesserter Isolatorenformen für Gebiete starker atmosphärischer Verschmutzung auf erhebliche Schwierigkeiten. In der Tat wechseln die Art der Fremdschicht und die meteorologischen Bedingungen von einem Ort zum andern und verlangen unter Umständen Isolatoren von ganz verschiedenen Formen.

Obwohl man den deutlichen Einfluss des Kriechweges auf das Verhalten der Isolatoren bei Fremdschichten erkannt hat, wäre es trotzdem falsch, einzig und allein den Kriechweg als Bemessungsgrundlage zu wählen; die Form und Art des Isolators haben für einen gegebenen Kriechweg ebenfalls einen grossen Einfluss. In Gebieten mit periodischem Regenfall bevorzugt man solche Formen, die die Selbstreinigung der Isolatoroberfläche durch den natürlichen Regen fördern.

Die Verlängerung des Kriechweges auf Kosten der Selbstreinigung kann sich als schädlich erweisen. Durch Formen mit grossen geschützten Oberflächen, verhindert man die Reinigung des Isolators durch den natürlichen Regen und begünstigt die Bildung einer dicken, leitenden Schicht.

Man sollte stets bedenken, dass die Reinigung des Isolators durch den Regen das einzige, im Betrieb vorhandene, natürliche Phänomen darstellt, durch das der Isolator teilweise oder vollständig sein ursprüngliches Isoliervermögen zurück erhält.

Eine Ideallösung besteht darin, ein Gleichgewicht zwischen Fremdschichtbildung und Reinigung durch den Regen zu erreichen; damit ist auch in «Schmutzgebieten» ein Dauerbetrieb ohne Überschläge gewährleistet.

Bei der Entwicklung neuer Isolatoren hat man deshalb grosses Interesse, die Selbstreinigungseigenschaften durch einen relativ kurzen Laboratoriumsversuch nachprüfen zu können.

Es erscheint zweckmässig, hier die in den verschiedensten Ländern bereits durchgeführten umfangreichen Untersuchungen in Erinnerung zu rufen, deren Zweck es ist, einen künstlichen Schmutzversuch zu definieren, um im Laboratorium das Verhalten von Isolatoren in verschmutzter Atmosphäre prüfen zu können. Eine Arbeitsgruppe des Studien-Komitees Nr. 5 der CIGRE wurde damit beauftragt, die verschiedenen künstlichen Versuchsmethoden zu prüfen und die Resultate mit den Betriebserfahrungen zu vergleichen.

Die bis jetzt vorgeschlagenen Versuchsmethoden können in zwei Gruppen unterteilt werden:

a) In der ersten Gruppe verwendet man ausschliesslich Salzlösungen von geringem spezifischen Widerstand, die entweder direkt gegen den Isolator zerstäubt, oder zur Bildung eines dichten Nebels verwendet werden, dem das zu untersuchende Prüfobjekt ausgesetzt wird.

b) In der zweiten Gruppe bildet man auf dem Isolator eine feste Fremdschicht, die sich je nach Art der Verschmutzung und des Befeuchtungsgrades als mehr oder weniger leitend erweist.

Bei diesen Versuchsmethoden wurde im allgemeinen bis jetzt der Einfluss der Selbstreinigungseigenschaften des Isolators vernachlässigt.

Die erwähnte Arbeitsgruppe der CIGRE ist der Ansicht, dass es angebracht sei, die Selbstreinigungseigenschaften einer näheren Prüfung zu unterziehen.

Im folgenden wird deshalb eine künstliche Versuchsmethode beschrieben, die es gestattet, das Verhalten der Hochspannungsisolatoren bei Verschmutzung zu prüfen und gleichzeitig ihre Selbstreinigungseigenschaften zu beurteilen. Als Beispiel werden die Resultate einer ersten Versuchsreihe mit Langstabisolatoren gegeben.

Versuchsmethode

Die zu untersuchenden Isolatoren werden in einem feuchtigkeitsdichten Raum aufgehängt. Als Spannungsquelle dient ein verhältnismässig leistungsfähiger Transformator, der Ströme von mehreren Hundert Milliampère ohne nennenswerte Spannungsverluste liefert. Die gewählte Spannung sollte ungefähr der Betriebsspannung zwischen Phase und Erde entsprechen.

Die vorerst sauber gereinigten Isolatoren werden unter Spannung gesetzt und mehreren Versuchszyklen unterworfen, die sich folgendermassen zusammensetzen:

a) Bestaubungsperiode (3 h);
b) Nebelperiode (3 h in Salz-Nebel);
c) Reinigungsperiode durch künstlichen Regen (5 min);
d) Trocknungsperiode (15 h).

Während der ganzen Versuchsdauer, mit Ausnahme der Trocknungsperiode, wird der Ableitstrom jedes Isolators gemessen. Nach Erreichen eines gewissen Verschmutzungsgrades bilden sich auf dem Isolator Teilentladungen und es können gleichzeitig auch Stromspitzen registriert werden. Es ist jedoch wichtig, eine ausreichende Anzahl von Zyklen durchzuführen, um eindeutige Überschläge zu erhalten.

Sichtbare Entladungen, die von verhältnismässig schwachen Stromspitzen begleitet sind, können auf keinen Fall als Qualitätskriterium des Isolators dienen. Zahlreiche Beobachtungen im Betrieb haben gezeigt, dass die Periode der Teil- und Vorentladungen manchmal sehr lange dauern kann. Man kennt Fälle von in Meeresnähe aufgestellten Isolatoren, die seit mehreren Jahren täglich solche Entladungen zeigen, ohne dass es zum eindeutigen Überschlag und zur Abschaltung der Leitung gekommen wäre. Ein künstlicher Fremdschichtversuch muss demnach unbedingt bis zum Überschlag des Isolators durch einen relativ leistungsstarken Lichtbogen von mehreren Hundert Milliampère, wenn möglich von einigen Ampère, fortgeführt werden.

Die Zeit bis zum Überschlag, oder die Anzahl der durchgeführten Verschmutzungszyklen, dient zur Klassifizierung der Isolatoren.

Im folgenden wird eine kurze Beschreibung der in diesem speziellen Falle benutzten Versuchsanlage gegeben.

Beschreibung der Versuchsanlage

Die Hochspannung wird durch einen Prüftransformator mit dem Übersetzungsverhältnis 220/63 000 V und einer Leistung von 50 kVA erzeugt. Ein Reguliertransformator

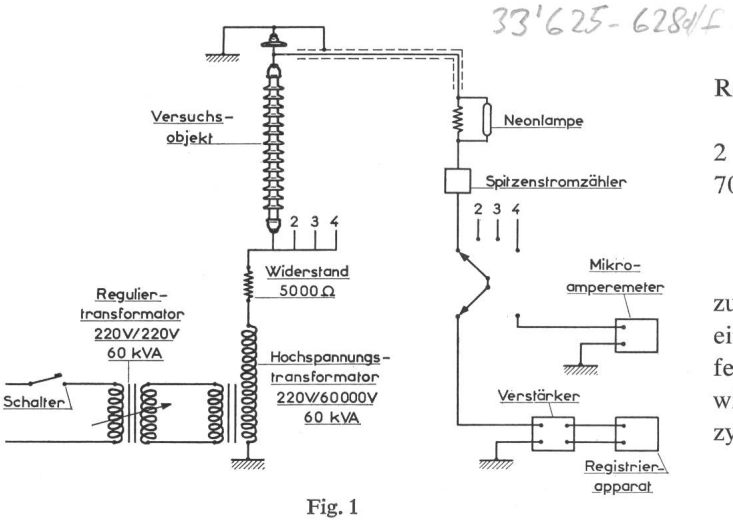

Fig. 1
Schaltbild der Prüfanlage

von 60 kVA mit 14 Anzapfungen, Primärspannung 220 V, gestattet den Prüftransformator mit einer variablen Spannung von 0...220 V zu speisen. Die Versuchsspannung kann dementsprechend feinstufig zwischen 0 und 63 kV reguliert werden. Fig. 1 zeigt das elektrische Schaltbild.

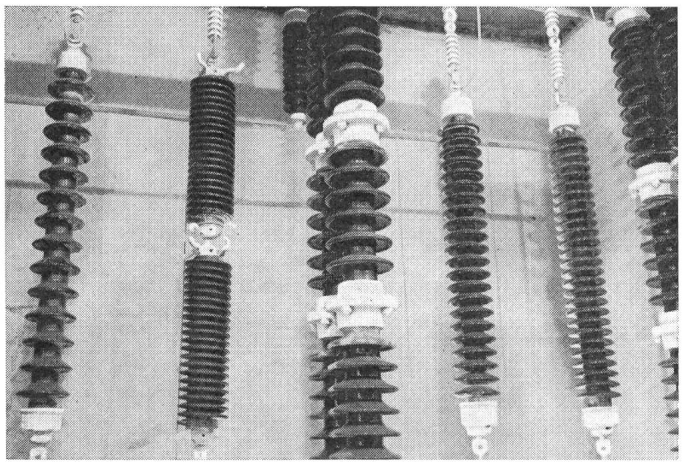

Fig. 2
Innenansicht des Versuchsraumes für künstliche Verschmutzung

Der Versuchsraum hat eine Breite von 3,60 m, eine Länge von 4 m und eine Höhe von 3,50 m. Er gestattet gleichzeitig vier in einem Tragrahmen aufgehängte Isolatoren zu prüfen. Diese sind erdseitig durch ein abgeschirmtes Kabel mit den ausserhalb des Versuchsraumes aufgestellten Messinstrumenten verbunden. Fig. 2 zeigt das Innere des Versuchsraumes mit 4 Langstabisolatoren.

Bestaubungsperiode

Als Staub wird Kaolin verwendet. Es fällt aus einem vibrierenden Behälter in den Luftstrom eines Ventilators und wird durch mehrere Richtflügel regelmässig im Raume verteilt.

Nebelperiode

Ein mit einer Salzlösung (31 g NaCl pro Liter Wasser) und mit Pressluft gespiesener Zerstäuber erzeugt einen sehr feinen und dichten Nebel.

Künstliche Beregnung

Die Regenanlage ist mit Kapillardüsen ausgerüstet. Die Regenmenge wird auf folgende Werte reguliert:

Vertikalkomponente 2,8 mm/min, Horizontalkomponente 2 mm/min. Der spezifische Widerstand des Wassers beträgt 7000 Ωcm.

Trocknungsperiode

Um die Isolatoren vor dem folgenden Zyklus vollkommen zu trocknen, heizt man den Versuchsraum während 15 h mit einem elektrischen Ofen von 11 kW, wobei gleichzeitig die feuchte Luft durch einen Ventilator nach aussen abgezogen wird. Damit kann pro Tag ein vollständiger Verschmutzungszyklus durchgeführt werden.

Messapparatur

Der Dauerkriechstrom wird elektronisch verstärkt und mit einem Ampèremeter gemessen, das ebenfalls Stromspitzen von mindestens $^1/_4$ s Dauer anzeigen kann. Um Stromspitzen von nur $^1/_{100}$ s Dauer und darüber zu registrieren, verwendet man einen Impulszähler und einen Schreiber mit elektronischem Verstärker.

Eine mit keramischen Kondensatoren hoher Impedanz versehene, abgeschirmte und isolierte Prüfstange, gestattet die Spannungsverteilung auf den Isolatoren vor und während des Versuches zu messen. Diese Messung wird mit reduzierter Spannung (15 kV) durchgeführt.

Fremdschichtversuch mit 4 Langstabisolatoren

Fig. 3 zeigt vier untersuchte Isolatoren. Ihre Gesamtlänge ist angenähert gleich und sie sind für eine Betriebsspannung von ungefähr 110 kV gebaut. Zwei der Isolatoren entsprechen den in Deutschland üblichen Ausführungen; der eine besitzt

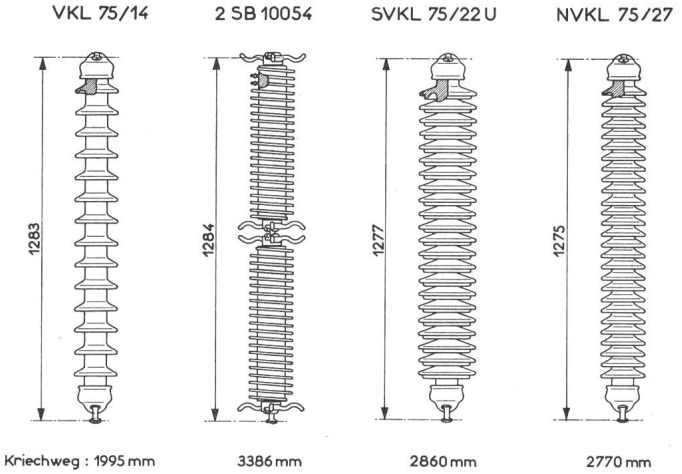

Fig. 3
Vier mit der beschriebenen Methode untersuchte Langstabisolatorentypen

14, der andere, ein Nebellangstab, 27 Schirme. Der 3. Isolator hat 22 Schirme; jeder Schirm ist auf der Unterseite mit einem ausgeprägten Wulst versehen, welcher den Kriechweg wesentlich verlängert und gleichzeitig eine gegen den Regen geschützte Oberfläche schafft. Der 4. Typ besitzt einen spiralförmigen Schirm, der einerseits einen relativ langen Kriechweg gewährleistet und anderseits die Selbstreinigung der Oberfläche begünstigt. Der symmetrische Schirm besitzt zwei Rillen, in denen das Regenwasser dem Isolator entlang abfliesst.

Die mit klassischen Schirmen ausgerüsteten Isolatoren haben je zwei aufgebleite Kappen, d. h. Aussenarmaturen; die Ausführung mit Spiralschirmen hingegen ist zweiteilig und hat Innenarmaturen.

Ausgeführte Fremdschichtzyklen

a) 3 h Bestaubung: Die im Versuchsraum zerstäubte Kaolinmenge beträgt 3 · 750 g, d. h. total 2250 g.

b) 3 h Nebel: Die Menge zerstäubter Salzlösung (31 g Salz pro Liter Wasser) beträgt 16 Lit. pro h, das heisst total 48 Lit.

c) 5 min künstlicher Regen (7000 Ωcm).

d) 15 h Trocknen.

Die Versuchsbedingungen sind so gewählt, dass sich auf den vom Regen nicht gereinigten Oberflächen nach wenigen Zyklen dicke und starkleitende Fremdschichtbeläge bilden.

Die erste Versuchsreihe wird bis zur Erreichung von Stromspitzen von mindestens 300 mA fortgesetzt. Eine Weiterführung des Versuches bis zu Entladungen von mehr als 300 mA würde kaum zu einer anderen Rangfolge in der Bewertung führen.

Resultate

Die Versuchsresultate sind in Tabelle I angegeben. Diese enthält die während der Benebelungsperiode gemessenen maximalen Stromspitzen sowie den maximalen Dauerableitstrom.

Fig. 4 zeigt einige Beispiele der ermittelten Ableitströme in Abhängigkeit der Zeit. Zu betrachten sind die gewählten Zeiteinheiten, das heisst eine Stunde für die Bestaubung und Benebelung, hingegen nur eine Minute für die Beregnung.

Eine erste Kurvenschar stellt den Verlauf des Dauerableitstroms

Künstlicher Fremdschichtversuch mit Selbstreinigung
Versuchsspannung (Effektivwert) 63 kV

Tabelle I

Isolatorentyp	Zyklus	Max. Stromspitze mA	Max. Dauerableitstrom bei Nebel µA
1 VKL 75/14	1		160
	2		520
	3	133	520
	4	250	540
	5	484	530
1 NVKL 75/27	1		80
	2		230
	3		470
	4		700
	5		610
	6	200	680
	7	484	800
1 SVKL 75/22 U	1		50
	2		190
	3		198
	4		600
	5		540
	6	208	470
	7	334	500
2 SB 10.054	1		184
	2		190
	3		205
	4		330
	5		370
	6	43	500
	7	30	550
	8	18	550
	9	48	600
	10	26	430
	11	70	680
	12	16	580
	13	183	450
	14	158	460
	15	67	750
	16		350
	17	75	460
	18	41	590
	19	83	550
	20	91	560
	21	305	700

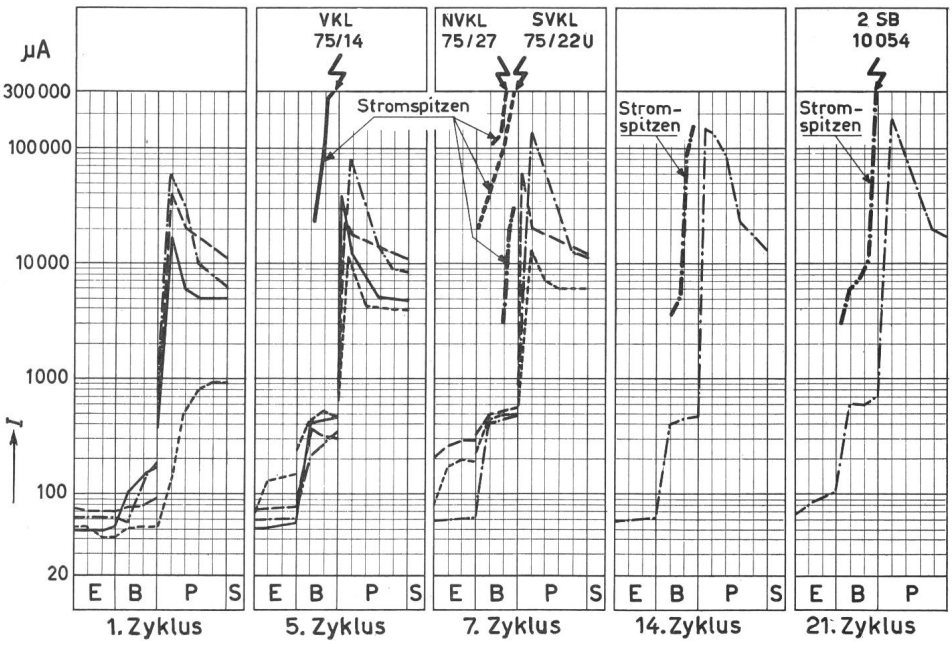

Fig. 4
Dauerableitströme und Stromspitzen bei künstlicher Verschmutzung

Versuchsspannung 63 kV (Effektivwert)

——— 1 VKL 75/14
– – – 1 NVKL 75/27
------ 1 SVKL 75/22 U
–·–·– 2 SB 10.054

E Bestaubung 3 h; *B* Benebelung 3 h; *P* künstlicher Regen 5 min; *S* Trocknungsperiode 15 h

für jeden Isolatortyp dar. Diese Ströme erreichen ihr Maximum während der Beregnung, im allgemeinen nach ungefähr einer Minute. Danach zeigt sich, je nach den Selbstreinigungseigenschaften des Isolators, ein mehr oder weniger starkes Abklingen des Ableitstroms.

Eine zweite Kurvenschar lässt den Verlauf der Ableitstromspitzen, die ausschliesslich während der Benebelung registriert werden, erkennen. Die Grösse dieser Stromspitzen gestattet eine Beurteilung des noch vorhandenen Isolationsgrades und der Gefahr eines Überschlages.

Eine genauere Prüfung der Resultate führt zu folgenden Feststellungen:

Als erster Isolator wurde der VKL 75/14 ausgeschieden. Dieses Messresultat stimmt mit der Betriebserfahrung überein; in der Tat hat dieser Typ, mit nur einem relativ kurzen Kriechweg, in Gebieten mit atmosphärischer Verschmutzung ungenügende Resultate ergeben und wird im allgemeinen dort nicht mehr verwendet. Man sieht bei den Versuchsresultaten relativ hohe Stromspitzen während der Dauer von drei Zyklen. Dagegen erstrecken sich diese Stromspitzen für die beiden folgenden Typen mit längerem Kriechweg nur über zwei Zyklen.

Es ist vor allem überraschend, festzustellen, dass der Typ SVKL 75/22 U mit langem geschütztem Kriechweg und mit relativ kleinen Ableitströmen zu Beginn des Versuchs, sich letzten Endes nicht besser verhält als der Typ NVKL 75/27.

Man erkennt die geringere Wirkung der Selbstreinigung beim Typ SVKL 75/22 U, verglichen mit den Isolatoren VKL 75/14 und NVKL 75/27.

Der Isolator mit Spiralschirm zeigt ein völlig anderes Verhalten. Während des ersten Zyklus hat er den höchsten Ableitstrom; relativ kleine Stromspitzen erscheinen vom 6. Zyklus an, also später als beim VKL 75/14, aber ungefähr gleichzeitig wie bei den zwei anderen Typen mit Normalschirm, aber verlängertem Kriechweg. Trotzdem bleiben die Stromspitzen während 20 Zyklen unterhalb 300 mA, der Isolator erholt sich kräftig während jeder Regenperiode und liegt schliesslich mit 21 Zyklen in der Rangfolge der 4 untersuchten Isolatortypen an der Spitze.

Der Verlauf der Kurven in Fig. 4 während der Regenperiode gestattet, die Isolationsverbesserung jeden Typs durch Beregnung zu beurteilen.

Ableitströme bei Beregnung

Tabelle II

Zyklus	Typ	Ableitstrom: Maximalwert I_m µA	Ableitstrom: Nach 5 min Beregnung I_f µA	$\frac{I_m}{I_f}$
1	VKL 75/14	18 000	5 000	3,6
	NVKL 75/27	40 000	11 000	3,6
	SVKL 75/22 U	900	900	1
	SB 10.054	60 000	6 200	9,7
5	VKL 75/14	40 000	5 000	8
	NVKL 75/27	25 000	12 000	2,1
	SVKL 75/22 U	14 000	4 000	3,5
	SB 10.054	87 000	8 400	10,4
7	NVKL 75/27	60 000	12 000	5
	SVKL 75/22 U	16 000	5 000	3,2
	SB 10.054	160 000	11 400	14
14	SB 10.054	180 000	13 600	13,2
21	SB 10.054	180 000	18 800	9,6

Tabelle II enthält für die in Fig. 4 dargestellten Versuchszyklen folgende Angaben:

a) Maximaler Ableitstrom I_m während der Beregnung. (Der Maximalwert wird im allgemeinen während der 1. Minute Beregnung erreicht.)
b) Ableitstrom I_f am Ende der 5-min-Beregnung.
c) Verhältnis I_m/I_f.

Das Verhältnis I_m/I_f dient als charakteristische Grösse für die Selbstreinigung. Ein grosses Verhältnis von I_m/I_f bedeutet eine gute Verbesserung des Isoliervermögens während der Beregnung.

Für den Isolator mit Spiralschirm ergibt sich durchwegs ein günstigeres I_m/I_f; es folgen dann die Typen VKL 75/14, NVKL 75/27 und SVKL 75/22 U.

Das gute Versuchsresultat mit dem Spiralschirm kann durch die Kombination eines langen Kriechweges mit guten Selbstreinigungseigenschaften erklärt werden.

Schlussbetrachtungen

Die beschriebene Methode für künstliche Fremdschichtversuche gestattet, das Verhalten von Hochspannungsisolatoren in verschmutzter Atmosphäre zu prüfen und gleichzeitig ihr Selbstreinigungsvermögen zu beurteilen.

Für Isolatoren mit üblicher Schirmform ergibt sich eine andere Rangordnung als bei Versuchen mit den bis jetzt bekannten Laboratoriumsmethoden, die entweder zerstäubte Salzlösungen oder leitende Staubschichten verwenden. Die erwähnten Versuchsmethoden begünstigen Isolatorentypen mit langem geschütztem Kriechweg, wie zum Beispiel den Typ SVKL 75/22 U.

Das beste Ergebnis wurde mit einem Spiralschirm-Isolator mit langem selbstreinigendem Kriechweg erzielt.

Es erscheint wünschenswert, das Problem der Selbstreinigung von Hochspannungsisolatoren durch weitere Laboratoriumsversuche und durch Versuche und Beobachtungen im Betrieb noch eingehender zu erforschen und zu klären.

Literatur

[1] *H. von Cron:* Essais des isolateurs recouverts superficiellement de couches étrangères reproductibles. Rapport-CIGRE 1956 N° 203.

[2] *J. S. Forrest, P. J. Lambeth* und *D. F. Oakeshott:* Research on the Performance of High-Voltage Insulators in Polluted Atmospheres. Proc. IEE A 107(1960), S. 172...196.

[3] *L. Gion:* Méthode d'essai pour l'étude comparative du comportement des divers types d'isolateurs soumis à la pollution atmosphérique. Bull. Soc. franç. Electr. 7/8(1958), S. 525...534.

[4] *L. Gion* et *H. Meier:* Nouveaux isolateurs à aillette hélicoïdale pour lignes et appareillage haute tension. Rapport-CIGRE 1960 N° 208.

[5] *G. Leroy:* Mise au point de la méthode indirecte d'essai proposée par H. Josse. Justification des modalités d'exécution adoptées. Bull. Soc. franç. Electr. 7/8(1958), S. 600...602.

[6] *G. Reverey:* Hochspannungsisolatoren unter Fremdschichteinfluss. Prüfverfahren und Ergebnisse. Elektr. Wirtsch. 58(1959), S. 41...47 und 90...96.

[7] *A. Roggendorf:* Neue VDE-Richtlinien 0448 für die Prüfung von Isolatoren für Anlagen mit Betriebsspannungen von 1 kV und darüber unter Fremdschichteinfluss. ETZ A 80(1959), S. 28...30.

Adresse der Autoren:

L. Gion, Directeur Technique, und *H. Meier,* Ingénieur en Chef des Services Techniques, Compagnie Générale d'Electro-Céramique, Bazet (Hautes Pyrénées) (France).