Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 49 (1958)

Heft: 3

Artikel: Untersuchung über den Hochfrequenz-Störeinfluss von Koronarentladungen an Langstabisolatoren mit verschiedenen Lichtbogen-Schutzarmaturen

Autor: Würstlin, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058506

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: 22.08.2025

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

Untersuchung über den Hochfrequenz-Störeinfluss von Koronaentladungen an Langstabisolatoren mit verschiedenen Lichtbogen-Schutzarmaturen

Von *D. Würstlin*, Karlsruhe

621.315.624.015.532 : 621.396.823

Aus der Vielzahl der am Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule Karlsruhe durchgeführten Untersuchungen an Isolatorenketten verschiedener Isolatorentypen und Lichtbogenschutzarmaturen für Betriebsspannungen bis 380 kV werden hier die Ergebnisse für unverschmutzte Langstabisolatoren veröffentlicht. Für 60- und 110-kV-Langstabisolatoren wird der Einfluss der gebräuchlichsten Armaturen, wie Hornkreuze, Ringe usw. auf die elektrische Feldverteilung, auf die Koronaeinsatzspannung und auf die Höhe der Hochfrequenzstörspannungen untersucht. Es werden konstruktive Verbesserungsvorschläge gemacht, um für den Bereich bis zum $\sqrt{2}$-fachen der Betriebsspannung störarme Langstabisolatoren zu erhalten.

Parmi la multitude des recherches exécutées à l'institut des hautes tensions de l'école polytechnique de Karlsruhe sur les chaînes d'isolateurs de différents types et munies d'armatures spéciales contre la formation d'arcs électriques pour des tensions allant jusqu'à 380 kV, il est publié ici les résultats obtenus pour les isolateurs d'une seule pièce non salis. Pour des isolateurs d'une seule pièce de 60 et 110 kV fut étudiée l'influence des armatures les plus usitées, telles que crochets, anneaux etc.... sur la répartition du champ électrostatique, sur la tension d'apparition des décharges de couronne et sur la valeur des tensions de perturbation de haute fréquence. Il est proposé ici des améliorations constructives pour obtenir des isolateurs d'une seule pièce ayant de faibles perturbations pour des tensions allant jusqu'à $\sqrt{2}$ fois la tension de service.

1. Die technische Bedeutung der Koronaentladung an Hochspannungs-Freileitungen

In den letzten Jahren ist der Bedarf an elektrischer Energie ständig angestiegen und damit der Bau von Höchstspannungsanlagen immer dringlicher geworden. Will man aber eine Hochspannungsanlage mit Höchstspannung betreiben, so muss ausser einem höheren Isolationsniveau vor allem der Einfluss und die Wirkung des Korona-Effektes in Rechnung gezogen werden:

Sobald die Randfeldstärke an Metallteilen von Hochspannungsmaterial einen kritischen Wert überschreitet, setzen impulsartige Koronaentladungen ein. Zu diesen Metallteilen sind vor allem zu rechnen: die Leiterseile, die Lichtbogen-Schutzarmaturen, die Hängeklemmen der Leiterseile, die Isolatorenkappen usw. Man hat also bei der Errichtung auch bei 100-kV-Übertragungsanlagen und bei Anlagen mit niedrigeren Betriebsspannungen auf die Zweckmässigkeit der Konstruktionsteile im Hinblick auf die zu erwartenden Hochfrequenzbeeinflussungen zu achten. Deshalb müssen die in Frage kommenden Konstruktionen im Laboratorium erprobt werden.

Während man Untersuchungen an glatten zylindrischen Leitern und an Leiterseilen in der Versuchsreuse (koaxiales Zylinderfeld) laboratoriumsmässig schon vor längerer Zeit durchführte [1; 2] [1]), ist der Einfluss der Isolatoren und Isolatorenketten mit ihren Armaturen auf Hochfrequenzbeeinflussungen unterschätzt worden. Denn gerade die Lichtbogen-Schutzarmaturen an Hochspannungsisolatoren-Ketten können bei älteren Konstruktionen (Hornkreuzen) zu unangenehmen Hochfrequenzstörungen Anlass geben.

Dass die Hochfrequenzbeeinflussung durch Hochspannungsanlagen grössere technische Bedeutung erlangt hat, als die energiewirtschaftlich unwichtigen Koronaverluste bei Betriebsspannungen, ist leicht zu erklären:

Der immer grössere Ausbau des Verbundbetriebes ist heute, bedingt durch den steigenden Bedarf an elektrischer Energie, unumgänglich geworden. Um diesen Verbundbetrieb aber überwachen zu können, müssen die Energieversorgungsunternehmen ihr Nachrichtennetz entsprechend weiter ausbauen. Die Übertragung der Nachricht sowie der Schalt-, Steuer- und Kontrollsignale der Energieversorgungen erfolgt nicht nur über Telephonkabel, sondern weitgehend durch trägerfrequente Telephonie auf Hochspannungsleitungen (TFH) und neuerdings über UKW-Telephonie. Die in Deutschland und in den meisten anderen Ländern zugelassene höchste Sendeleistung bei der TFH beträgt 10 W auf einem verfügbaren Frequenzband von 30...375 kHz [3]. Diese TFH und auch der drahtlose Nachrichtendienst, der Rundfunk- und Fernsehempfang in der Nähe einer Hochspannungsfreileitung können durch die Koronaentladungen beeinträchtigt werden. Mit steigender Betriebsspannung nehmen die Störungen stark zu. Die Ursache dieser hochfrequenten Beeinflussung ist — wie schon erwähnt — die unregelmässige, impulsartige Koronaentladung an Lichtbogen-Schutzarmaturen, an Isolatorenkappen und am Leiterseil. Jeder Isolator mit seiner Armatur stellt einen Störgenerator mit eingeprägtem Kurzschlußstrom dar. Nun bleibt aber nicht die Störwirkung auf einen bestimmten Ort in der Nähe des Störers beschränkt, sondern es breitet sich ein hochfrequentes elektromagnetisches Störfeld längs der Hochspannungsleitung — zwischen je einem Leiter und dem Erdboden und zwischen zwei und mehreren Polleitern — auf weite Entfernungen hin aus; denn eine Hochspannungsfreileitung besitzt bis zu sehr hohen Frequenzen hinauf eine geringe Übertragungsdämpfung. Der Störpegel, d. h. die entstehende Störfeldstärke in der Umgebung der Hochspannungsfreileitung hängt ab von deren Wellenwiderstand und Übertragungsdämpfung. Er kann (mit Hilfe der Maxwellschen Gleichungen) für einen beliebigen Ort in der Nähe der Freileitungen mit genügender Genauigkeit berechnet werden.

2. Der Störeinfluss des Langstabisolators mit und ohne Lichtbogen-Schutzarmatur

Aus der Vielzahl der verschiedenen Typen von Isolatoren mit den gebräuchlichsten Armaturen, die im Laboratorium untersucht wurden, soll hier

[1]) siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

nur der Langstabisolator (L 75/9, L 75/13, L 75/14, NL 75/27) herausgegriffen werden. (Strunkdurchmesser 75 mm; Schirmzahl 9, 13, 14, 27; die Betriebsspannung für den Langstabisolator L 75/9 beträgt 60 kV, für L 75/13, L 75/14 sowie für den «Nebel»-Langstab NL 75/27 110 kV.) Bei den Laboratoriumsversuchen wurde sorgfältig darauf geachtet, dass das elektrische Feld um den Isolator und seine Teile genau dem entspricht, wie es bei der Aufhängung am Mast in natura entsteht. Die Porzellanoberflächen der Isolatoren waren sauber. Obgleich nach bisherigen Untersuchungen der Einfluss der Witterung auf HF-Störungen nicht zu vernachlässigen ist, gewinnt man doch wesentliche Anhaltspunkte über den relativen Störpegel, wenn im Laboratorium unter normalen Bedingungen ($\approx$ 760 mm Hg, $\approx$ 20 °C und 40...50 % relative Luftfeuchtigkeit) gearbeitet wird.

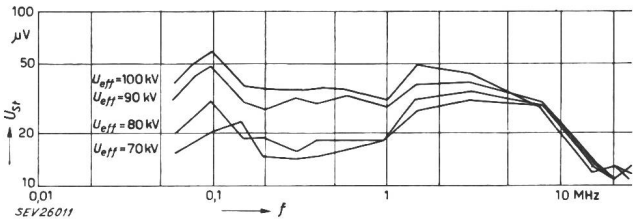

Fig. 1
Störspektrum eines Langstabisolators L 75/14 ohne Schutzelektroden

Die HF-Störspannung U_{St} am Isolator ist in Abhängigkeit von der Frequenz f dargestellt. Parameter ist die angelegte Hochspannung U_{eff} (50-Hz-Wechselspannung). Als Bezugswiderstand wurden 60 Ω = Eingangswiderstand des Störspannungsmessgerätes StMG 3800 gewählt

Die Fig. 1...4 lassen den Einfluss der Lichtbogen-Schutzarmaturen (nach Fig. 11 und 12) auf die «Störspannung» U_{St} in µV bei verschiedenen Hochspannungen erkennen. Als Störmessgerät diente das «Störspannungsmessgerät» StMG 3800 von Siemens und Halske. Ausserdem konnte bei diesen Messungen ein einfaches HF-Gerät zur Anzeige der

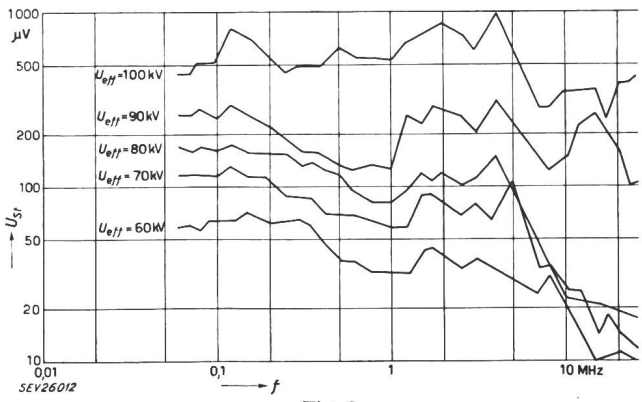

Fig. 2
Wie Fig. 1, jedoch mit Hornkreuzen

Bemerkungen und Bezeichnungen siehe Fig. 1

Koronaeinsatzspannung, das vom Verfasser neu konstruiert wurde, mit bestem Erfolg eingesetzt werden. Die mit dem ersten Gerät aufgenommenen «Störspannungen», d. h. die hochfrequenten Spannungen am Hochspannungsisolator, sind gemäss DIN 57 876 bzw. CISPR geräuschbewertet. Der Eingangswiderstand des StMG beträgt 60 Ω.

Die Koronaeinsatzspannung, d. h. die Hochspannung, bei welcher im Kathodenstrahloszillographen die ersten Entladungen erkennbar werden, deckt sich mit der Spannung, die durch das HF-Anzeigegerät registriert wird, sowie mit der Spannung des steilen Anspringens der Hochfrequenzstörungen — gemessen mit dem Störspannungsmessgerät — und mit der des messbaren Anstieges der

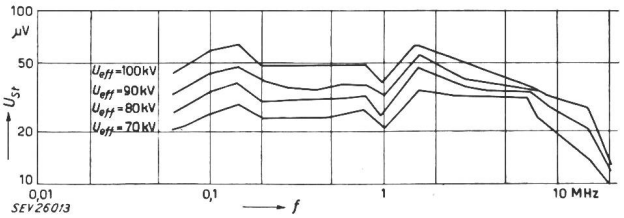

Fig. 3
Wie Fig. 1, jedoch mit Ring-Schutzelektroden

Bemerkungen und Bezeichnungen siehe Fig. 1

Koronaverluste. Diese Korona-Einsatz-Hochspannung ist besonders durch die Form der unteren Schutzelektroden bedingt. Bei Schutzhornkreuzen liegt der Einsatz am niedrigsten, und er beginnt in der negativen Halbwelle der Hochspannung bei

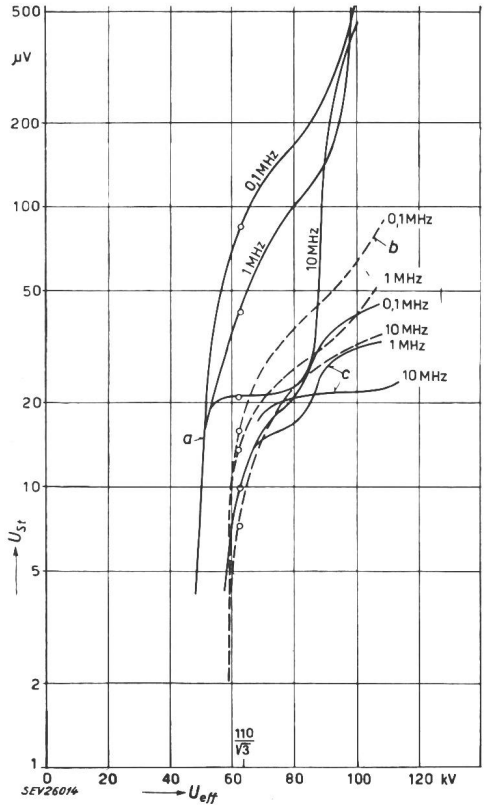

Fig. 4
Störspannung in Abhängigkeit von der Hochspannung beim Langstabisolator L 75/14

a mit Hornkreuzen; *b* mit Ring-Schutzelektroden; *c* ohne Schutzarmatur

Die HF-Störung U_{St} am Isolator ist in Abhängigkeit von der angelegten Hochspannung (50 Hz) aufgetragen. Parameter ist die Frequenz. Bezugswiderstand: 60 Ω = Eingangswiderstand des Störspannungsmessgerätes StMG 3800

50 Hz; bei unteren Ringarmaturen (ohne vorstehende Daumen), mehr noch beim Isolator ohne Armatur liegt der Koronaeinsatz höher und setzt in der positiven Halbwelle der Hochspannung ein. Zwischen der Grösse der Koronaverluste und der Höhe der HF-Beeinflussung (Störspannung U_{St}) besteht kein unmittelbarer Zusammenhang.

Die Koronaverluste (bzw. der tg δ) wachsen nur langsam mit steigender Hochspannung, dagegen springen die Störspannungen beim Einsatz der Korona scharf an von einigen µV bis zu 50...100 µV. Darum kann die Hochfrequenzbeeinflussung schon bei Betriebsspannung beträchtliche Werte annehmen, wogegen die Koronaverluste energiewirtschaftlich ohne Bedeutung sind. Das Frequenzspektrum der Koronaentladung dehnt sich bis zu hohen Frequenzen hin aus (beobachtet wurde das Spektrum bis zu Frequenzen von 25 MHz). Der Einfluss der Schutzelektroden, besonders aber der der unteren Leitungsaufhängung tritt in Fig. 1...4 in Erscheinung. Dass die Störspannungswerte besonders bei den Hornkreuz-Schutzarmaturen bei Betriebsspannungen schon recht ungünstige Werte annehmen (Fig. 2 und 4), liegt offensichtlich daran, dass schon bei verhältnismässig niedrigen Hochspannungen an feldmässig stark beanspruchten Stellen (Hornkreuze) die Koronaentladungen «ausbrechen».

Um eine gültige Voraussage über die zu erwartenden Störspannungswerte und besonders über den Einsatz der Koronaentladungen an Hochspannungsisolatoren machen zu können, muss das Feldbild um den Isolator vor allem in der Nähe der Armaturen bekannt sein.

3. Ermittlung des Feldbildes der Langstabisolatoren L 75/9 und L 75/14 mit verschiedenen Schutzelektroden im elektrolytischen Trog

Zur Messung der Spannungs- und Feldstärkeverteilung an Langstabisolatoren bringt man ein getreues Abbild des zu untersuchenden Objektes in den gefüllten elektrolytischen Trog und achtet darauf, dass die Oberfläche des Elektrolyten genau in einer Symmetrieebene des Isolatormodelles liegt. Wie zuvor bei der Aufhängung des Isolators im Laboratorium im Modellmaßstab 1:1, so müssen auch im elektrolytischen Trog bei verkleinertem Maßstab die Feldverhältnisse möglichst streng denen am Hochspannungsmast angepasst werden. Doch dürfen bei der Untersuchung im elektrolytischen Trog einige geringfügige und durchaus berechtigte Vereinfachung getroffen werden:

Bei der Messung der Spannungsverteilung am sauberen Isolator kann der Einfluss des Porzellans vernachlässigt werden, weil die Normale der Trennfläche der verschiedenen Dielektrika (Luft—Porzellan) die gleiche Richtung wie der Verschiebungsfluss hat, so dass also die Äquipotentiallinien fast immer senkrecht auf die Trennfläche treffen und somit keine nennenswerte Brechung erfahren.

Wegen dieser Vereinfachung des Messobjektes brauchen also nur die Isolatorenkappen, das Leiterseil und die Traverse sowie die verschiedenen Schutzarmaturen nachgebildet werden.

In den nun folgenden Darstellungen und Berechnungen wird zur besseren Umrechnungsmöglichkeit angenommen, dass am untersuchten Isolator eine Hochspannung von $\hat{U}$ = 100 kV, bei 50 Hz, entsprechend 100 % angelegt sei.

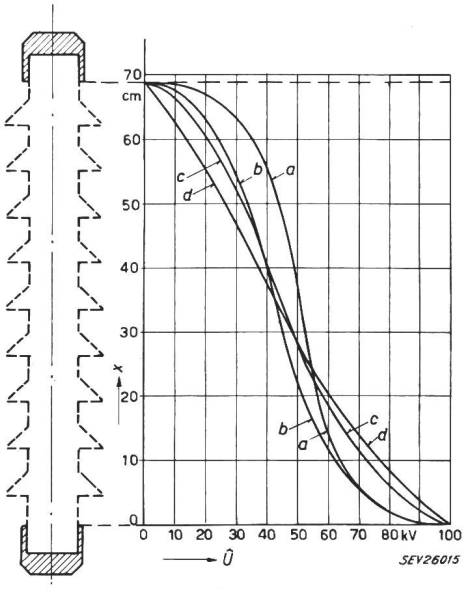

Fig. 5
Statische Spannungsverteilung des Langstabisolators L 75/9 im Modell
a Kappen allein; *b* Kappen + Leiter + Traverse;
c Kappen + Leiter + Traverse + Hornkreuze;
d Kappen + Leiter + Traverse + Ringarmaturen
Im elektrolytischen Trog wurde die Spannungsverteilung längs eines Isolatormodelles aufgenommen. Bezugsspannung ist eine Hochspannung von $\hat{U}$ = 100 kV entsprechend 100 % im elektrolytischen Trog

In den Fig. 5, 6, 8, 11a und 12a ist deutlich zu sehen, dass der untere Teil des Isolators L 75/9 wesentlich stärker elektrisch beansprucht wird als der obere. Zwar kann man die Höchstfeldstärke am Kappenrand dieses Isolators herabsetzen, wenn z. B. die Kappen durch Hornkreuze entlastet werden (Fig. 11b und 12b). Doch wird jetzt der Ort der höchsten Randfeldstärke von der Kappe auf die Hornkreuze verlagert. Dagegen entlasten die verwendeten Wulstringarmaturen die Kappen sehr gut, ohne dass an ihnen selbst eine zu hohe Feldstärke auftritt (Fig. 11c und 12c).

Vergleicht man nun die Spannungsverteilung bei diesen drei verschiedenen Anordnungen (Fig. 5 und 6), so kann man folgende Schlüsse ziehen:

a) Das untere Drittel des Langstabisolators ist am stärksten elektrisch beansprucht.

b) Die ungünstigste Spannungsverteilung am Langstabisolator entsteht dann, wenn er im betriebsmässigen Zustand ohne Armatur aufgehängt wird.

c) Die günstigste Spannungsverteilung wird durch geschlossene Wulstringarmaturen (ohne vorstehende Daumen) erreicht.

d) Die Spannungsverteilung bei allen Langstabisolatoren (L 75/9 bis L 75/14) stimmen im unteren Bereich, also in der Nähe der unteren Armaturen gut überein.

Aus c) darf abgeleitet werden, dass die grössten Randfeldstärken an den unteren Armaturen der Langstabisolatoren L 75/9 bis L 75/14 etwa gleiche Werte haben, solange sich die Betrachtung auf die gleiche Hochspannung am Isolator bezieht.

Es besteht schon seit Jahrzehnten der Wunsch, die Spannungs- und Feldstärkeverteilung um einen Isolator rechnerisch oder graphisch erfassen zu können. Bei so komplizierten geometrischen Gebilden, wie sie die Langstabisolatoren mit ihren diversen Schutzarmaturen darstellen, können natürlich nur Näherungsmethoden angewandt werden. Da aber zuvor der Verlauf der Spannungsverteilung im elektrolytischen Trog gemessen wurde, kann eine einfache Elektrodenanordnung gefunden werden, die etwa die gleiche Spannungsverteilung hat wie der Langstabisolator. Betrachtet man den Langstabisolator ohne Schutzarmaturen nur mit seinen Kappen, so ist es naheliegend, die Kappen als Kugeln anzunehmen und das ganze System wie eine Kugelfunkenstrecke zu untersuchen. Nach geeigneter Wahl eines Kugelradius lässt sich so in Fig. 7 auch die Spannungsverteilung am Isolator mit Schutzarmaturen befriedigend nachbilden. Ist ferner noch der kleinste wirksame Krümmungsradius der Armaturen — der Schutz-Hornkreuze und der geschlossenen Wulstringe (ohne Daumen) — bekannt, so können näherungsweise die wirksamen Randfeldstärken ermittelt werden. Diese sind aber allein für die Koronaentladung und damit für die Hochfrequenzbeeinflussung entscheidend. Nach all diesen Untersuchungen kann nun für eine gewählte Schutzarmatur des Langstabisolators eine kritische Spannung, die Koronaeinsatzspannung, angegeben werden. Die entsprechende kritische Feldstärke beträgt $E_k = 29{,}8$ kV/cm bei 20 °C und 760 mmHg.

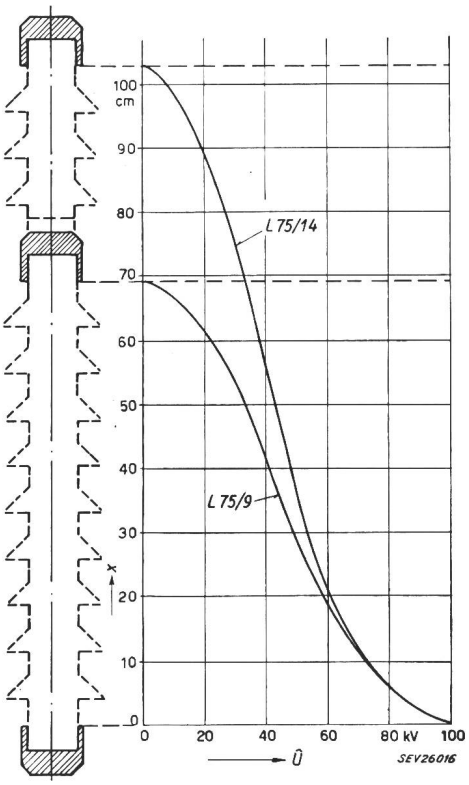

Fig. 6
Statische Spannungsverteilung der Langstabisolatoren
Langstabisolatoren L 75/9 und L 75/14 im Modell nach *d*) in Fig. 5
Man erkennt, dass die Spannungsbeanspruchung der unteren Kappen bei beiden Isolatoren nahezu die gleiche ist.
Bezugsspannung wie in Fig. 5 angegeben
Û angelegte Hochspannung nach Fig. 5

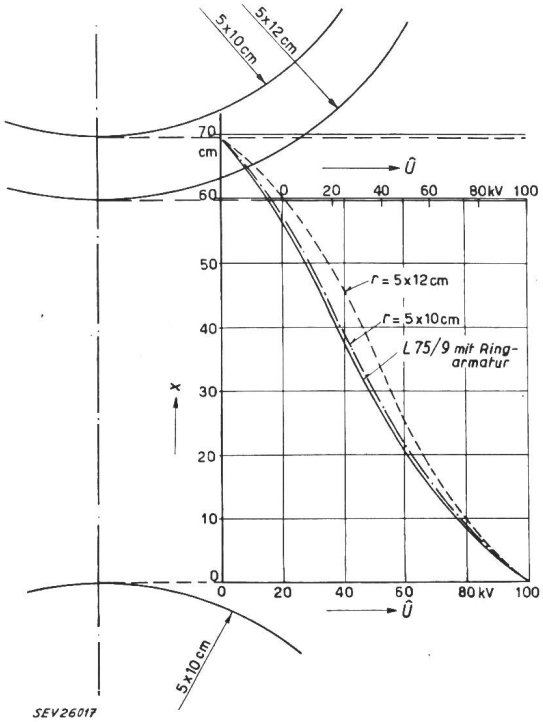

Fig. 7
Statische Spannungsverteilung zwischen zwei Kugeln im Vergleich mit der Spannungsverteilung längs des Langstabisolators L 75/9 mit Ring-Schutzelektroden
Im elektrolytischen Trog wurde ein passendes Modell im verkleinerten Maßstab untersucht.
Radius der Ersatzkugeln r = 10 bzw. 12 cm
Maßstabfaktor 1 : 5, Bezugsspannung wie in Fig. 5

4. Die Korona-Einsatzspannung und der Einsatz der Hochfrequenzbeeinflussung durch Langstabisolatoren mit verschiedenen Armaturen

Der Einsatz der Koronaentladungen an Hochspannungsisolatoren wird meist entweder durch Abhören der ersten Entladungsgeräusche oder durch Beobachten des ersten sichtbaren Glimmens mit gut adaptiertem Auge im Dunkeln festgestellt. Oft wird ein kommerzielles Rundfunkgerät benützt und die ersten Knackgeräusche im Lautsprecher werden als Kriterium für den Koronaeinsatz herangezogen. Wenn diese Verfahren zunächst recht zweckmässig erscheinen, so sind sie doch ziemlich ungenau, da sie stets von der subjektiven Wahrnehmung des Beobachters abhängig sind. Sehr vorteilhaft erwies sich für diese Messungen das bereits erwähnte HF-Gerät, dessen Anzeigeinstrument durch Zeigerausschlag beim Überschreiten der kritischen Hochspannung am Prüfobjekt den genauen Einsatz der Koronaentladung registrierte. Die Empfindlichkeit dieser Messeinrichtung übertraf die des Störspannungsmessgerätes, vor allem auch dadurch, dass nur die von dem Untersuchungsobjekt selbst herrührenden Störungen aufgenommen wurden. Der Störpegel für das Messgerät war bis 140 kV kleiner als 1 μV.

Eine Vielzahl von Messungen und Beobachtungen bewiesen, dass ausschlaggebend für die Korona-

einsatzspannung und den damit verknüpften Einsatz der HF-Störungen nur die Form der Armaturen auf Hochspannungspotential sind. An Hornkreuz-Schutzarmaturen und an den Daumen der Wulstringarmaturen treten Entladungen schon bei relativ niederen Hochspannungen auf, so dass sich die Frage erhebt, ob man nicht diese Armaturen — soweit sie noch verwendet werden — durch andere Konstruktionen ersetzen sollte.

Korona-Einsatzspannung in kV (Effektivwerte)
(Phasenspannung gegen Erde)

Tabelle I

Isolatortyp			L 75/9	L 75/13	L 75/14	NL7 5/27
I	Langstab-isolator ohne Armatur	berechnet	≈50	≈52	≈52	≈53
		gemessen	52±3	55±3	58±3	58±3
II	Langstab-isolator mit Hornkreuze	berechnet	≈32	≈32	≈ 31	≈31
		gemessen	36±3	37±3	40±3	38±3
III	Langstab-isolator mit Wulstring	berechnet	>100	>100	>100	>100
		gemessen	55±3	55±3	55±3	55±3
IV	Langstab-isolator mit Daumen-Wulstring	berechnet	—	—	—	—
		gemessen	34±3	36±3	38±3	40±3

Tabelle I zeigt die hohe Empfindlichkeit des zur Indikation verwendeten HF-Gerätes gegenüber dem Störspannungsmessgerät (vgl. Fig. 4).

5. Verbesserungsvorschläge zur Entstörung der Hochspannungs-Isolatoren

Der Einfluss der Isolatorenkappen auf die Störfähigkeit soll hier näher untersucht werden. Oft werden die Isolatorenkappen statt mit Kitt aufgesetzt (Fig. 8), mit einer Blei-Antimon-Legierung eingegossen. Durch die eingebleite Kappe wird die Feldstärke an der kritischen Stelle am Kappenrand zwar

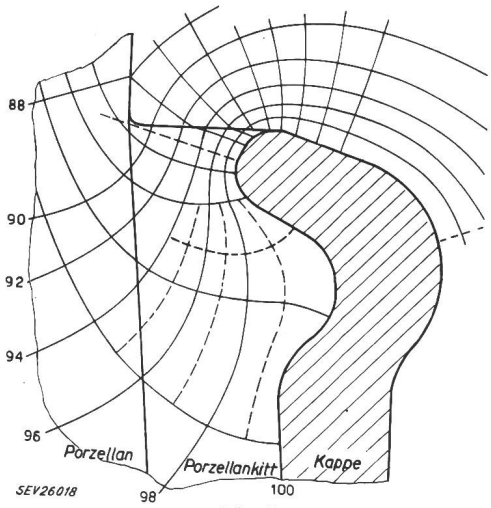

Fig. 8
Feldstärkeverlauf am Kappenrand
Isolatorkappe PL 75 des Langstabisolators L 75/9
Die Isolatorkappe ist eingekittet. Die Zahlen bezeichnen die Spannungen der Äquipotentiallinien in Prozenten

wesentlich heruntergedrückt, aber es entsteht dadurch direkt am Isolatorstrunk eine Metalloberfläche mit sehr kleinem Krümmungsradius, der die Randfeldstärke an dieser Stelle sehr erhöht (Spitzenwirkung). Dies hat zur Folge, dass schon bei relativ niederen Hochspannungen Hochfrequenzbeeinflussungen einsetzen. Somit lässt sich durch die eingebleite Kappe keine Verbesserung der Störfähigkeit, sondern nur eine Verschlechterung erzielen (Fig. 9).

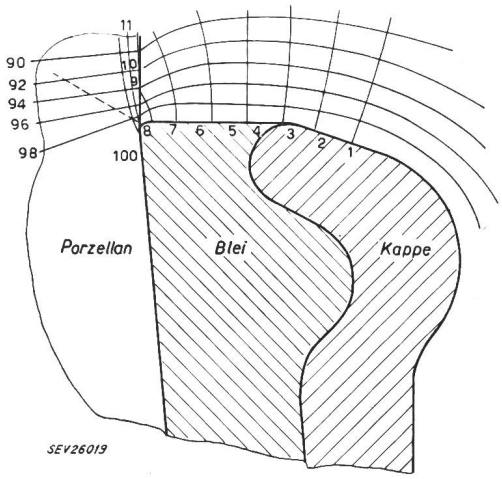

Fig. 9
Feldverteilung bei eingebleiter Kappe
Eingebleite Kappe PL 75

Eine sehr gute Lösung der Entstörung der Isolatorenkappen ist in Fig. 10 angegeben. Man braucht nur den Radius des Kappenrandes soweit zu vergrössern, dass die Koronaeinsatzspannung um mehrere tausend Volt über der Betriebsspannung liegt. Mit dem Krümmungsradius von 0,8 cm erreicht man schon eine Störfreiheit der Kappe bei Betriebsspannung. Ein gewisser Sicherheitsfaktor ist hiebei schon berücksichtigt worden. Die Isolatorkappe wird

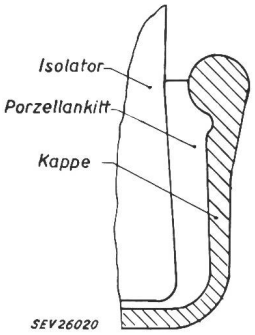

Fig. 10
Sprühfreier Kappenring einer Isolatorkappe
Der Kappenrand ist durch einen wulstartigen Ring vergrössert

durch diese Formgebung des Kappenrandes nicht nur störfrei gemacht, sondern durch die wulstartige Verdickung erhält die Kappe noch eine zusätzliche mechanische Festigkeit.

Aus den theoretischen Überlegungen und den Messergebnissen folgt, dass die Anordnung mit Ringarmatur, glatter Ausführung (Fig. 11c und 12c) die höchste Einsatzspannung haben muss. Die jedoch sehr früh einsetzenden Entladungen an den scharfen Kanten der Hängeklemmen lassen den gemessenen Störeinsatz immer noch knapp unterhalb der Betriebsspannung des Langstabes L 75/14 er-

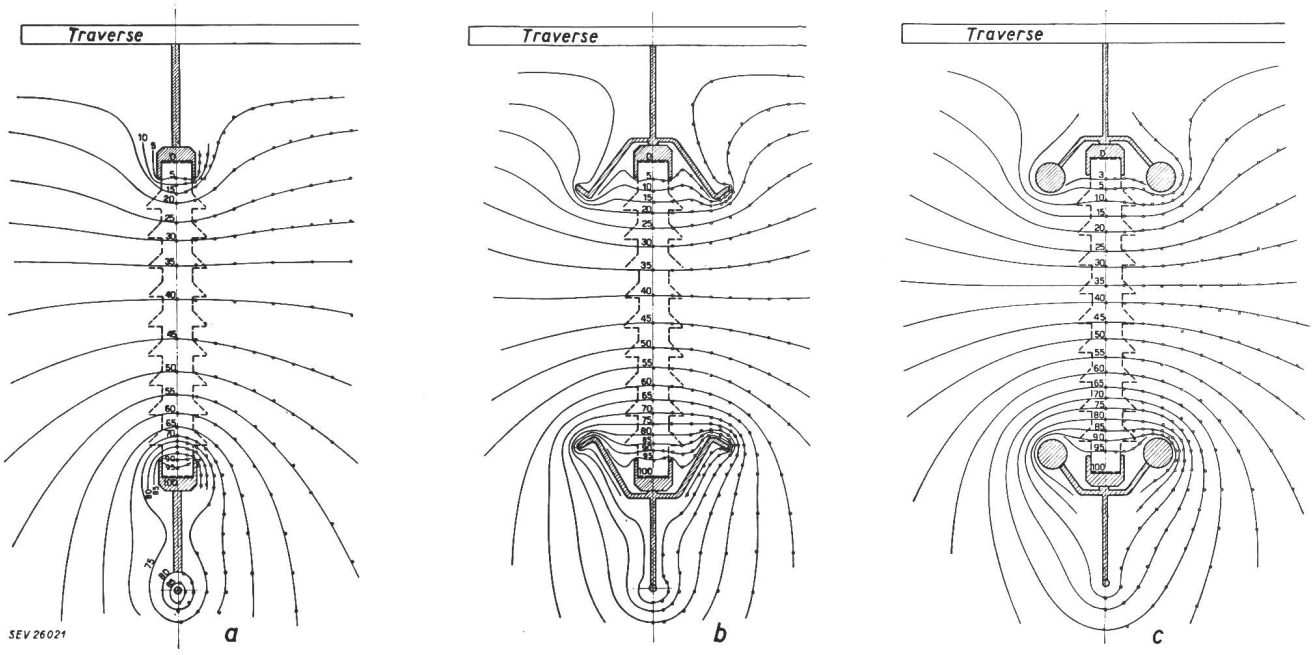

Fig. 11
Äquipotentiallinien bei verschiedenen Armaturen
Langstabisolator L 75/9 im Modell mit
a Kappen + Leiter + Traverse
b Kappen + Leiter + Traverse + Hornkreuze
c Kappen + Leiter + Traverse + Ring-Schutzelektroden
Die Äquipotentiallinien wurden im elektrolytischen Trog aufgenommen

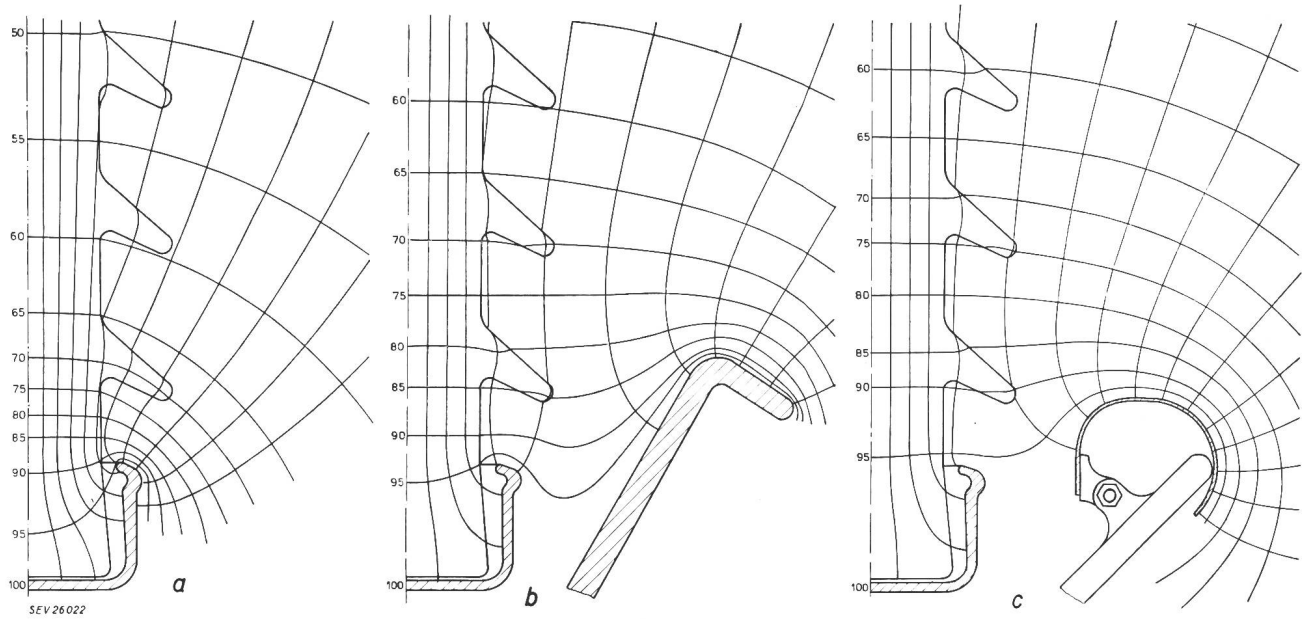

Fig. 12
Feldbild
Langstabisolator L 75/9 mit
a Kappen + Leiter + Traverse
b Kappen + Leiter + Traverse + Hornkreuze
c Kappen + Leiter + Traverse + Ring-Schutzelektroden
(In der Figur ist nur die untere Kappe sichtbar)

scheinen. Es ist also erforderlich, die Hängeklemmen durch Vergrösserung der Krümmungsradien sprühfrei zu machen. Fig. 13 zeigt Lösungen, welche in bezug auf den Koronaeinsatz günstig zu sein scheinen. Die Hängeklemmen sind hier von einem Sprühschutz umgeben.

6. Zusammenfassung

Es wird auf die technische Bedeutung der Koronaentladung, insbesondere an Armaturen von Langstabisolatoren eingegangen. Die Diagramme für die Störspannungen am Langstabisolator L 75/14 zeigen, dass gerade bei Hornkreuz-Schutzarmaturen

die Hochspannungsisolatoren beachtliche Störsender darstellen können. Es ist erwähnenswert, dass die — in diesem Artikel nicht veröffentlichten — Messergebnisse für verschmutzte Isolatoren und bei Witterungseinflüssen, z. B. bei Regen und Nebel, ungünstiger und die Störwerte mitunter um eine

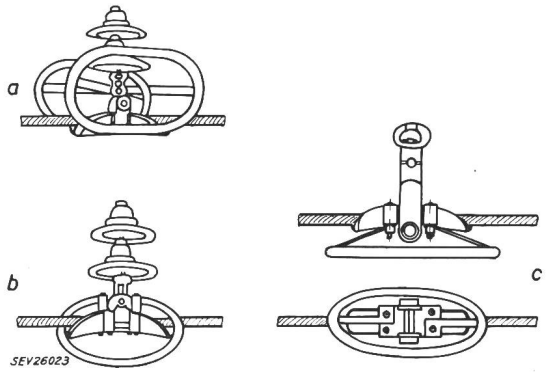

Fig. 13
Günstige Hängeklammern mit Sprühschutz
a Ring-Schutzarmatur zur elektrischen Entlastung der untersten Kappe und Hängeklemme einer 220-kV-Kette
b Ring zur Entlastung der Hängeklemme
[*a*) und *b*) nach CIGRE-Bericht Nr. 214, 1954]
c Entlastung der Hängeklemme durch abgerundeten Metallkörper

Zehnerpotenz höher liegen als für Isolatoren im unverschmutzten und trockenen Zustand. Zur rechnerischen Ermittlung der Koronaeinsatzspannung an Isolatoren muss zunächst die Feldverteilung um den Isolator bekannt sein. Sodann können für die wichtigsten Armaturen Näherungsformeln zur Berechnung der Koronaeinsatzspannung angenommen werden. Aus der Erfahrung, die bei der Untersuchung der Langstabisolatoren mit den verschiedenen Armaturen gemacht wurden, kann schliesslich die wirtschaftlich günstigste Lösung angegeben werden, d. i. ein Langstabisolator mit geeigneten Armaturen ohne nennenswerte hochfrequente Beeinflussung vor allem der Trägerfrequenz-Hochfrequenztelefonie (TFH):

a) Langstabilisator mit geschlossenem Wulstring als Armatur. Die Wulstringarmatur ist dann im Betriebsbereich der 60- und 110-kV-Leitungen störfrei, wenn aus ihrer Oberfläche keine Daumen herausragen.

b) Langstabisolator mit störfreier Kappe.
Die Kappen des Langstabisolators lassen sich durch einen wulstartigen Ring mit einem Krümmungsradius von 0,8 cm als Kappenrand bis zum $\sqrt{2}$ fachen der Betriebsspannung störfrei machen.

c) Für höhere Betriebsspannungen müssen die Hängeklemmen elektrisch abgeschirmt werden, um die volle Wirkung der Wulstringe ohne Daumen ausnützen zu können (s. Fig. 13).

Mit diesen Armaturen und Isolatorenkappen wird es sicher möglich sein, die Rundfunkempfangsstörungen in der Nähe der Hochspannungsfreileitungen und die Beeinflussung der TFH auf ein Minimum herabzusetzen.

Literatur

[1] *Berger, K.:* Kurze Theorie der Energieübertragung und ihrer Stabilität. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 10, S. 343...352, 361...363. [Insbesondere Abschnitt 8: Koronaverluste und Radiostörungen, S. 362...363.]

[2] *Heindl, H.:* Rundfunkstörungen der Gleichspannungskorona im koaxialen Zylinderfeld. Diss. TH München 1953.
Heindl, H.: Rundfunkstörungen der Gleichspannungskorona im koaxialen Zylinderfeld. AEÜ Bd. 9(1955), Nr. 2, S. 93...98.

[3] *Backes, R.:* Einseitenbandgeräte für die Trägerfrequenzübertragung von Fernwirksignalen über Hochspannungsleitungen. ETZ-A Bd. 76(1955), Nr. 4, S. 145...148.

[4] *Lesch, G.:* Die internationale Koronaforschung und ihre bisherigen Ergebnisse. In: «Die 400-kV-Forschungsanlage Rheinau», Teil 1, S. 23...43. Hg. von der 400-kV-Forschungsgemeinschaft e. V. Heidelberg: 1955.

[5] *Wechsung, W.:* Funkstörungen durch Korona-Entladungen auf Hochspannungsleitungen. ETZ-B Bd. 9(1957), Nr. 10, S. 385...388.

Adresse des Autors:
Dipl. Ing. *D. Würstlin,* Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule Karlsruhe, Kaiserstrasse 12, Karlsruhe (Deutsche Bundesrepublik).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Schweizerische Turbogeneratorgruppen für Capetown

621.313.322 -81(687.12)

Nachdem die Stadt Capetown bereits Ende 1956 für die neue Athlone Power Station die Lieferung von zwei Dampfturbogeneratorgruppen von je 30 MW, 3000 U./min, mit Kondensationsanlage an die schweizerische Industrie vergeben hatte, wurde nunmehr auch die dritte Einheit gleicher Leistung bei der Maschinenfabrik Oerlikon bestellt. Sämtliche drei Turbinen werden in Zweizylinderbauart mit Vorwärmung auf 170 °C (340 °F) ausgeführt. Der Dampfdruck beträgt 42 kg/cm² (900 lb/in²), die Dampftemperatur 480 °C (900 °F) und das Vakuum 50 mm (2″) Hg. Der Auftrag wurde gegen starke englische Konkurrenz erteilt.

Allgemeine Untersuchungen über die Regelmöglichkeiten bei einem Fusionsreaktor

539.17 : 621.039.4-5

[Nach *M. A. Schultz:* A First Look at Fusion-Reactor Control. Nucleonics Bd. 15(1957), Nr. 6, S. 76...79]

Die Konzeption für einen möglichen Fusionsreaktor ist jetzt soweit ausgearbeitet, dass man sich auch einige Gedanken über die zu erwartenden Regelprobleme machen kann. Dabei soll die Annahme gemacht werden, dass irgend eine Anordnung gefunden werden konnte, bei der die DD-Reaktion stationär aufrecht erhalten werden kann. (Ähnliche Überlegungen gibt es auch für die DT-Reaktion.) Dabei muss auch ein Magnetfeld B beteiligt sein, damit das Zusammenhalten dieser grossen Ionenströme gewährleistet ist. Ein typischer Effekt, der heute schon bei kurzzeitigen Entladungen sehr gut untersucht ist, wird als «Pinch-Effekt» bezeichnet. Die Hochstromentladung wird durch das äussere Magnetfeld eingeengt. Dabei kompensiert sich die totale magnetische Kraft mit dem durch die Temperatur hervorgerufenen Gesamtdruck. Durch die Entladung einer Kondensatorenbank ($V_0 \approx 30...50$ kV) können kurzzeitig sehr hohe Ströme (Spitzenwerte über 10^6 A) erzeugt werden. Wegen der grossen Instabilität einer solchen eingeschnürten Entladung ist man noch weit davon entfernt, eine stationäre Entladung über längere Zeit aufrecht zu halten.

Für ein einfaches eingeschnürtes Plasmasystem kann man folgendes Gleichungssystem anschreiben:

$$\frac{dE}{dt} = {}^1/_2\, n^2 \bar{\sigma}\, \bar{v}\, W - 0{,}54 \cdot 10^{-30}\, n^2\, T^{1/2} - \frac{K_D\, n\, k\, T}{\tau(T)} \qquad (1)$$

dE/dt bedeutet ebenso die Änderung der thermischen Energie, die das System besitzt:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d(3/2\, nkT)}{dt}$$

(k Boltzmannsche Konstante; n Dichte der Deuteriumionen; T Plasmatemperatur)