Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 26 (1935)

Heft: 8

Artikel: Untersuchung der Radiostörwirkung von Hochspannungsisolatoren

Autor: Dick, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060303

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: 13.12.2025

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

nissen) noch recht lange nicht zur Auswirkung gelangen würden.

Die Beteiligung mit einem Viertel Anteil an der Elektrizitätswerk Rheinau A.-G. ist für Winterthur finanziell als gute Kapitalanlage, im übrigen als die rechtliche Bindung der NOK zur Einhaltung der übernommenen Verpflichtung der Energielieferung an Winterthur aufzufassen.

Der Grosse Gemeinderat Winterthur genehmigte diesen Vertrag am 18. Februar 1935. Von den übrigen Partnern ist der Vertrag schon vorher ratifiziert worden.

Untersuchung der Radiostörwirkung von Hochspannungsisolatoren.

Von der Materialprüfanstalt des SEV *(M. Dick)*, Zürich. 621.396.823 : 621.315.62

Es wird ein neues Messverfahren zur Untersuchung der Radiostörwirkung von Hochspannungsisolatoren angegeben, das sich des Siemensschen Störmessplatzes bedient. Die Störwirkung wird dadurch beurteilt, dass der Isolator durch Messung des hochfrequenten Kurzschlußstromes und der Leerlauf- und Maximalspannung als Hochfrequenzgenerator charakterisiert wird. Die normale Anschlussart eines Störers, bei welcher die Stromversorgung über den Störmessplatz erfolgt, kann hier wegen den hohen Spannungen nicht angewendet werden. Mit Hilfe eines Hochspannungskondensators gelingt es indessen, die Hochspannung vom Störmessplatz fernzuhalten, ohne dass dadurch die hochfrequenzmässige Verbindung beeinträchtigt wird. Die Messung der Leerlauf- und der Maximalspannung wird durch das ungünstige Widerstandsverhältnis zwischen Innenwiderstand des Isolators und Resonanzwiderstand des Belastungskreises erschwert. Die richtigen Messwerte können jedoch rechnerisch ermittelt werden.

Die charakteristischen Störwerte des Isolators sind von der Untersuchungs-Hochfrequenz und der angelegten Hochspannung abhängig. In Funktion der Hochspannung beginnt die Störwirkung bei einer gewissen Spannung, der sog. Störeinsatzspannung und nimmt bei höheren Spannungen stetig zu. Der Innenwiderstand bleibt jedoch konstant. In Abhängigkeit der Hochfrequenz bleibt umgekehrt der Kurzschlußstrom praktisch konstant, wogegen der Innenwiderstand und damit auch die Leerlaufspannung wegen des überwiegend kapazitiven Widerstandes mit fallender Frequenz zunimmt.

L'auteur indique un nouveau procédé pour mesurer l'effet perturbateur d'isolateurs à haute tension à l'aide du poste fixe de Siemens. L'effet perturbateur est caractérisé par l'assimilation de l'isolateur à un oscillateur à haute fréquence, dont on mesure le courant de court-circuit, ainsi que la tension à vide et la tension maximum. Dans ce cas particulier, étant donné la tension dangereuse, il n'est pas possible d'utiliser le raccordement normal de l'objet perturbateur à la source, à travers le poste de mesure. Toutefois, avec le secours d'un condensateur approprié, on arrive à maintenir la haute tension à l'écart de l'appareil de mesure, sans altérer en rien le circuit à haute fréquence de l'objet à essayer. Le rapport défavorable entre la résistance interne de l'isolateur et la résistance de résonance du circuit de charge suscite bien quelque difficulté lors de la mesure des tensions à vide et maximum, mais les valeurs exactes peuvent se déduire par le calcul.

Les valeurs perturbatrices caractéristiques de l'isolateur dépendent de la haute fréquence examinée et de la haute tension appliquée. Porté en fonction de cette tension, l'effet perturbateur commence à se manifester pour une valeur bien déterminée, à partir de laquelle il croît régulièrement; cependant la résistance interne demeure constante. Inversement, en fonction de la haute fréquence, le courant de court-circuit reste pratiquement invariable, tandis que la résistance interne — et par conséquent aussi la tension à vide — augmentent quand la fréquence diminue, à cause de la résistance surtout capacitive.

Seitdem die Entwicklung von Massnahmen zur Bekämpfung der durch Starkstromapparate verursachten Radiostörungen einen gewissen Abschluss erreicht hat, werden mehr und mehr auch jene Störer in den Betrachtungskreis einbezogen, die rein zahlenmässig weniger oft zu Klagen Anlass geben. Zu diesen gehören unter anderen die Isolatoren von Hochspannungsleitungen. Während bei den Starkstromapparaten die Entstörung im allgemeinen mit Hilfe von Kondensatoren und Drosselspulen erreicht werden kann, verlangen die Hochspannungsisolatoren ganz spezielle Massnahmen, die von den üblichen weitgehend abweichen. Die Untersuchung der Störungserscheinungen erfordert zufolge der Eigenart der Isolatoren auch besonders angepasste Untersuchungsapparaturen. Zu Beginn dieser Entwicklungen begnügte man sich mit einer einfachen Messapparatur, bestehend aus einem Rahmenempfänger, der in der Nähe des zu prüfenden Isolators in der Hochspannungs-Prüfanlage aufgestellt war und die Störintensität in einem willkürlichen Mass zur Anzeige brachte. Heute, wo mit Rücksicht auf die Allgemeingültigkeit und Vergleichbarkeit der Untersuchungsresultate verschiedener Laboratorien eine Messung mit den internationalen Einheiten angestrebt werden muss, genügt diese Messmethode nicht mehr.

Untersuchungsmethodik.

Im Anschluss an die Einrichtungen für die üblichen Messungen an radiostörenden Starkstromapparaten wurde in den Technischen Prüfanstalten des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, die sich auch mit der Untersuchung von Hochspannungsisolatoren befassen, ein neues Messverfahren entwickelt, das den zu stellenden Anforderungen gerecht wird. Es sei hier kurz darauf eingegangen.

Bei einem normalen radiostörenden Starkstromapparat besteht das Problem wie beim Hochspannungsisolator darin, das Verhalten als Störer durch möglichst wenig Messungen vollständig festzulegen. Dieses Ziel wird dort erreicht durch ein Messverfahren, das als Suchfrequenzverfahren bezeichnet wird [1]). Bei jeder einzelnen Untersuchungsfrequenz genügt die Messung von drei verschiedenen Werten zur Charakterisierung des Störers als Hochfrequenzgenerator, bei dem zwischen Strom und Spannung eine lineare Beziehung besteht. Als solche können die Grössen der Leerlaufspannung, der Maximalspannung und des Kurzschlußstromes durch entsprechende hochfrequente Belastung mit einem Schwingungskreis mit einfachen Mitteln gemessen werden. Aus diesen Messungen können die beiden

[1]) Näheres siehe Bull. SEV 1934, Nr. 25, S. 715.

Komponenten des inneren Widerstandes berechnet werden, die zusammen mit der Leerlaufspannung die sofortige Angabe von Strom und Spannung in einem beliebigen Belastungsfall der Praxis ermöglichen. Die Bezeichnung Suchfrequenzverfahren rührt davon her, dass bei jeder Messung die Störfrequenzen innerhalb eines Bandes von 9 kHz Breite mit einer künstlich erzeugten, sog. Suchfrequenz zur Bildung der zu messenden niederfrequenten Störspannungen zur Interferenz gebracht werden.

Bei einem normalen radiostörenden Apparat gestattet der Siemens-Störmessplatz, diese Werte leicht zu messen. Zur Untersuchung von Hochspannungsisolatoren, die in genau gleicher Weise als Hochfrequenzgeneratoren zu charakterisieren sind, muss jedoch die Untersuchungsmethodik etwas modifiziert werden. Im normalen Gebrauch wird der zu untersuchende Apparat über einen Sperrkreis im Störmessplatz mit Speisestrom versorgt. Diese Anschlussart kann bei der Untersuchung von Hochspannungsisolatoren nicht verwendet werden, da die Isolation im Messplatz den hohen Spannungen nicht gewachsen wäre. Der Messplatz muss somit von der spannungsversorgenden Hochspannungsleitung ferngehalten werden, ohne dass er indessen auch die Verbindung mit dem Isolator als Hochfrequenz-

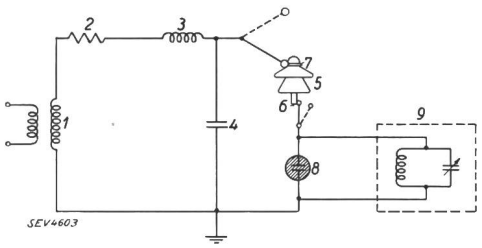

Fig. 1.
Schaltung zur Untersuchung der Hochspannungsisolatoren.

1 Hochspannungstransformator.
2 Hochohmwiderstand.
3 HF-Drosselspule.
4 Hochspannungskondensator, 300 pF.
5 Isolator.
6 Stütze.
7 Bund.
8 Spannungssicherung.
9 Störmessplatz.

generator verliert. Dies wird durch Verwendung eines Hochspannungskondensators nach Fig. 1 möglich.

Der Hochfrequenzkreis schliesst sich vom Isolator durch den Störmessplatz über den Hochspannungskondensator. Die Drosselspule und der ohnehin nötige strombegrenzende Hochohmwiderstand in der Hochspannungszuleitung verhindern einerseits eine störende und schwer kontrollierbare Ausbreitung der zu messenden Störungen und bilden anderseits einen gewissen Schutz gegen eventuelle Störungen, die vom Hochspannungstransformator herkommen. Der Störmessplatz ist, wie ersichtlich, zwischen Isolatorstütze und Erde eingeschaltet. Eine gewisse Gefahr in bezug auf einen eventuellen Uebertritt der Hochspannung auf den Störmessplatz entsteht dabei einzig durch die Wellenfront beim Einsetzen eines Ueberschlages, die am Sperrkreis eine grössere Spannung hervorrufen kann. Der nachfolgende stationäre Strom hat am kleinen Ohmschen Widerstand der Sperrkreisspule nur einen unbedeutenden Spannungsabfall zur Folge. Die Spannungsspitze selbst kann durch Ableitung in der vorgeschalteten Edelgas-Spannungssicherung gefahrlos gemacht werden.

Der Hochfrequenzwiderstand des Hochspannungskondensators, dessen Kapazität von 300 pF [2]) verglichen mit der Kapazität eines Isolators (10 bis 20 pF) relativ gross ist, kann gegenüber dem bedeutend grösseren innern Widerstand des Isolators bei allen Messungen vernachlässigt werden. Der hochfrequente Kurzschlußstrom kann wie üblich durch Messung des kleinen Spannungsabfalles an einem grossen Kurzschlußkondensator im Störmessplatz gemessen werden.

Eine gewisse Aenderung erfahren die Messungen der Leerlaufspannung und der Maximalspannung. Bei der ersten Messung wird der Sperrkreis auf die zu untersuchende Frequenz abgestimmt, so dass er mit seinem hohen Resonanzwiderstand den Störer hochfrequent abriegelt, während für die Messung der Maximalspannung der Sperrkreiskondensator um die kleine Eigenkapazität des Isolators verstellt werden muss, damit das ganze System einschliesslich Isolator mit der Messfrequenz zur Resonanz gelangt. Da nun diese Kapazität sehr klein ist, muss der Sperrkreis bei beiden Messungen sehr genau eingestellt werden. Normalerweise erfolgt die Abstimmung für die Leerlaufmessung nach Umlegung eines Umschalters, der den zu untersuchenden Apparat hinter der Anschlußstelle vom Sperrkreis abtrennt. Die Kapazität der Anschlussleitung wird dadurch in den Innenwiderstand des Störers einbezogen. Bei der grossen Mehrzahl der allgemeinen Radiostörer ist dies belanglos, da diese Kapazität den Innenwiderstand nicht wesentlich beeinflusst oder tatsächlich zum Innenwiderstand gerechnet werden muss. Beim Hochspannungsisolator, dessen Innenwiderstand selbst im wesentlichen nur durch dessen geringe Kapazität verursacht wird, darf die Zuleitungskapazität, die besonders bei Verwendung eines abgeschirmten Kabels ein Vielfaches der Isolatorenkapazität betragen kann, keinesfalls vernachlässigt werden. Die Anschlussverbindungen dürfen deshalb bei der Abstimmung nicht abgeschaltet werden. Die Abtrennung der Isolatorkapazität muss direkt am Isolator selbst erfolgen und kann an der Stütze oder am Bund vorgenommen werden. Zur genauen Erfassung der wirklichen Isolatorkapazität sind bei beiden Abtrennungsarten geringe Messfehler zu berücksichtigen. Bei der Abtrennung an der Stütze wird neben der Isolatorkapazität auch die statische Kapazität der Isolatorstütze mitgemessen; die Messung ergibt also etwas zu grosse Werte. Umgekehrt wird bei der Abtrennung auf der Bundseite die Isolatorkapazität nicht vollständig erfasst, weil auch bei abgetrenntem Isolator dessen Kapazität über die seriegeschaltete statische Kapazität des Bundes immer noch zu einem geringen Teil wirksam bleibt. Eine Kontrollmessung mit der Schering-

[2]) pF = $\mu\mu$F = 10^{-12} F.

brücke ergibt übereinstimmend, dass die wirkliche Kapazität zwischen den Werten der beiden Messungen liegt.

Die Untersuchungen von normalen Störern unterscheiden sich noch in weiterer Hinsicht von den Untersuchungen der Hochspannungsisolatoren, bedingt durch das ungünstige Widerstandsverhältnis zwischen innerem Isolatorwiderstand und Resonanzwiderstand des Sperrkreises. Damit bei der Messung der Leerlaufspannung der Isolator tatsächlich hochfrequent leerläuft, muss der Resonanzwiderstand des Sperrkreises mindestens um eine Grössenordnung grösser sein als der Innenwiderstand des Isolators. Der Resonanzwiderstand wird durch die Verluste im Sperrkreis bestimmt und hat bei den Sperrkreisspulen des Störmessplatzes bei jeder Einstellung eine bestimmte bekannte Grösse. Leider liegen nun diese Widerstände etwa in derselben Grössenordnung wie die Isolationswiderstände, so dass der Leerlauf nicht verwirklicht werden kann. Die gesuchten Spannungen lassen sich indessen trotzdem ermitteln, indem sie bei bekanntem Resonanzwiderstand aus den Messungen errechnet werden können. Die erreichbare Genauigkeit ist dabei allerdings nicht sehr hoch, da die Resultate aus einer kleinen Differenz zweier Werte entstehen. Dies fällt aber insofern nicht stark ins Gewicht, als den errechneten Spannungen keine grosse praktische Bedeutung zukommt. In der praktischen Verwendung werden die Isolatoren durch den Hochfrequenzwiderstand der Hochspannungsleitung belastet. Bei längeren Leitungen, bei denen durch die Dämpfung die Entstehung von stehenden Wellen verhindert wird, ist dieser Widerstand gleich dem Wellenwiderstand, bzw. wegen den beiden für den Isolator parallelgeschalteten abgehenden Zweige der Hochspannungsleitung gleich dem halben Wellenwiderstand der Leitung, der in der Grössenordnung 100 bis 1000 Ohm liegen mag. Reflexionsstellen an Schaltanlagen und anderen Unstetigkeitsstellen in der Hochspannungsleitung bedingen eine Veränderung dieses Widerstandes, namentlich bei kurzen Leitungen; doch dürfte auch in extremen Fällen die Abweichung nicht grösser als ca. eine Grössenordnung sein. Da nun der Innenwiderstand der Isolatoren ganz bedeutend grösser ist, arbeiten diese praktisch stets in hochfrequentem Kurzschluss. Die Intensität der zu erwartenden Radiostörungen ist demnach im wesentlichen an Hand des Kurzschlussstromes zu beurteilen. Für Untersuchungs- und Entwicklungszwecke mag jedoch auch die Kenntnis des Innenwiderstandes und der Leerlaufspannung nützliche Dienste erweisen. Der Bestimmung dieser Grössen liegen die folgenden Zusammenhänge zugrunde:

Im vollständigen Berechnungsgang sind zweckmässig zuerst die beiden Komponenten des Innenwiderstandes bzw. des Innenleitwertes aus den Messresultaten der «Leerlaufspannungsmessung» und der «Maximalspannungsmessung» zu berechnen. Die wirkliche Leerlaufspannung (und die wirkliche Maximalspannung, falls diese interessiert) folgt zum Schluss aus dem Kurzschlußstrom und diesen Leitwerten.

Der Ohmsche innere Leitwert folgt unmittelbar aus der gemessenen «Maximalspannung» U'_m und dem Kurzschlußstrom I_k. Bei Betrachtung des für die Messung der «Maximalspannung» geltenden Ersatzschemas Fig. 2 [3]) ist ohne weiteres ersichtlich, dass in diesem Falle nur die parallelgeschalteten Leitwerte G_i und G_a des Innenwiderstandes und des belastenden Sperrkreises vom Kurzschlußstrom gespeist werden. Der innere Blindleitwert wird dabei vom entsprechend eingestellten Blindleitwert des Sperrkreises kompensiert.

Es ist somit

$$G_i + G_a = \frac{I_k}{U'_m}$$

oder

$$G_i = \frac{I_k}{U'_m} - G_a$$

wobei G_a den Eichkurven des Sperrkreises zu entnehmen ist.

Die kapazitive Innenleitwertkomponente Y_i kann aus der gemessenen «Leerlaufspannung» U'_o ermittelt werden. Das für diese Messung gültige Ersatzschema zeigt Fig. 3.

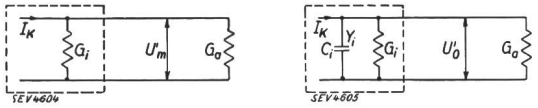

Fig. 2. Fig. 3.

Ersatzschema für die Messung der «Maximalspannung» U'_m (Fig. 2) und der «Leerlaufspannung» U'_0 (Fig. 3).

In diesem Falle wird neben den beiden Leitwerten G_i und G_a auch noch der unausgeglichene Blindleitwert Y_i der Isolatorkapazität C_i durch den Kurzschlußstrom I_k gespeist. I_k und U'_o sind hier nicht mehr in Phase. Es gilt die Beziehung:

$$G_i + G_a + j\,Y_i = \frac{\mathfrak{J}_K}{\mathfrak{U}'_o}$$

oder für die Absolutwerte:

$$\sqrt{(G_i + G_a)^2 + Y_i^2} = \frac{I_k}{U'_o}$$

für den gesuchten Blindleitwert $Y_i = \omega C_i$ entsteht der Ausdruck:

$$Y_i = \omega C_i = \sqrt{\left(\frac{I_k}{U'_o}\right)^2 - (G_i + G_a)^2} = I_k \sqrt{\frac{1}{U'^2_o} - \frac{1}{U'^2_m}}$$

Was die praktische Verwendbarkeit dieser Gleichung anbetrifft, ist zu sagen, dass bei den Hochspannungsisolatoren U'_o und U'_m nur wenig differieren, so dass für Y_i ein unsicherer Wert resultiert. Genauer kann Y_i aus der Kapazität C_i bestimmt werden. C_i ist aus der Verstimmung des Sperrkreiskondensators zwischen «Leerlauf-» und «Maximalspannungsmessung», oder für den spannungslosen

[3]) Vgl. Bull. SEV 1934, Nr. 25.

Zustand genauer aus der Verstimmung zwischen zwei Abstimmungen mit und ohne Isolatorkapazität direkt als Messresultat erhältlich.

Der Absolutwert des Innenwiderstandes folgt schliesslich aus der Beziehung

$$|\mathfrak{R}_i| = \frac{1}{\sqrt{G_i^2 + Y_i^2}}$$

und die gesuchte Leerlaufspannung aus

$$U_o = I_k \, |\mathfrak{R}_i|$$

Abhängigkeiten der Radiostörwirkung.

Obschon sich die verschiedenen Isolatorentypen in ihrer Störintensität sehr stark unterscheiden, stimmen sie doch in ihrem Verhalten im Prinzip überein. Dieses typische Verhalten soll an Hand eines Beispiels kurz erläutert werden.

Die interessierenden Grössen U_o, I_k und $|\mathfrak{R}_i|$, durch die der Isolator als Störer charakterisiert wird, sind von der Grösse der Hochspannung U_h (und deren Frequenz) und von der Untersuchungs-Hochfrequenz f abhängig. Dementsprechend kön-

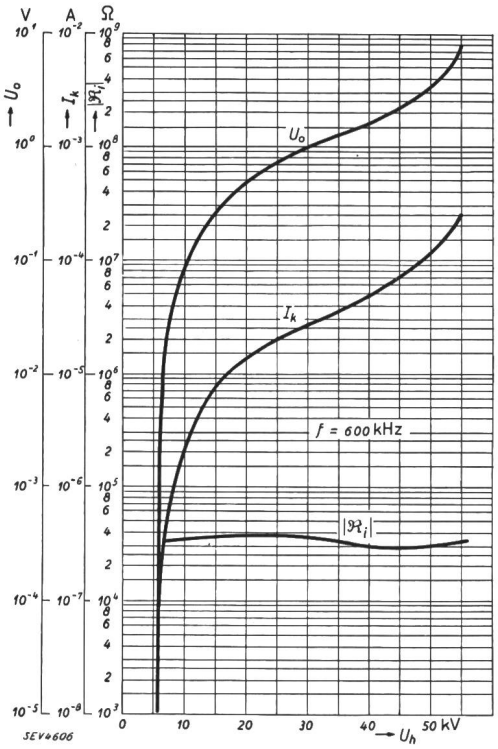

Fig. 4.
Abhängigkeit der Hochfrequenzgrössen von der Hochspannung.
Ueberschlag bei 64 kV.

nen die Abhängigkeiten auf zwei Arten untersucht und in Diagrammen dargestellt werden.

1. Art: U_o, I_k $|\mathfrak{R}_i| = F(U_h)$ f = Parameter.
2. Art: U_o, I_k $|\mathfrak{R}_i| = F(f)$ U_h = Parameter.

Fig. 4 bringt im Diagramm die Abhängigkeiten der ersten Art zur Darstellung. Die Werte von I_k und U_o nehmen, wie ohne weiteres zu erwarten ist, mit steigender Hochspannung bis zur Ueberschlagsspannung zu. Eine Besonderheit zeigt sich indessen darin, dass die Kurven nicht schon bei $U_h = 0$, sondern erst bei einer gewissen Spannung beginnen, dort dann aber sehr steil ansteigen, wenn die Ordinatenachsenteilung für I_k und U_o logarithmisch gewählt wird. Dies bedeutet, dass die Störungen erst bei einer gewissen, der sog. Störeinsatzspannung, beginnen. Der physikalische Grund für dieses Verhalten liegt in der Verursachung der Störungen

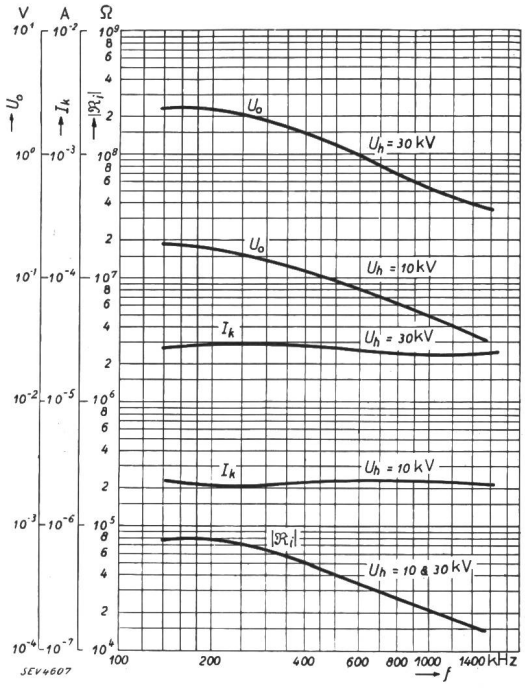

Fig. 5.
Abhängigkeit der Hochfrequenzgrössen von der Messfrequenz.

durch die meist in Form von Coronaentladungen einsetzenden Entladungsformen. Coronaentladungen und partielle Durchschläge beginnen erst dann, wenn die Spannung soweit gesteigert ist, dass die Feldstärke an den Metallteilen des Bundes oder zwischen diesen und dem Porzellan zum teilweisen oder ganzen Durchbruch der Luft ausreicht. Der innere Widerstand $|\mathfrak{R}_i|$ bleibt über den ganzen Bereich annähernd konstant. Die drei Kurven sind durch die Beziehung $U_o = |\mathfrak{R}_i| \, I_k$ miteinander verbunden. Bei logarithmischer Achsenteilung muss somit die U_o-Kurve der Addition der I_k und $|\mathfrak{R}_i|$-Kurve gleichkommen. In Fig. 4 sind die Kurven nur für einen Parameterwert von f eingetragen. Die Eintragung ganzer Kurvenscharen erübrigt sich hier, da die Abhängigkeit von f sehr einfacher Natur ist. Die dabei geltenden Gesetzmässigkeiten gehen deutlich aus dem Zusammenhang mit dem Diagramm von Fig. 5 hervor, das den Abhängigkeitstypus der zweiten Art darstellt. Die Kurven sind hier unter Verwendung logarithmischer Achsenteilung für zwei verschiedene Parameterwerte von U_h eingetragen. Der Kurzschlußstrom I_k ist von der Hochfrequenz f praktisch unabhängig und hat bei jeder Spannung U_h einen bestimmten Wert, der dem Diagramm der ersten Art zu entnehmen ist. Der

innere Widerstand $/\mathfrak{R}_i/$, der umgekehrt von U_h praktisch unabhängig ist, verändert sich hier nur in Funktion von f gemäss der schwach gebogenen Kurve und bleibt vom Parameterwert U_h unbeeinflusst. Der geradlinige geneigte Teil der Kurve bei höheren Frequenzen bringt bei der doppelt logarithmischen Achsenteilung die indirekte Proportionalität zwischen dem überwiegend kapazitiven Innenwiderstand und der Frequenz f zum Ausdruck. Die Biegung bei tieferen Frequenzen ist damit zu erklären, dass dort wegen des höher werdenden kapazitiven Widerstandes der Einfluss des Ohmschen Innenwiderstandes mehr und mehr überwiegt, so dass die Kurve allmählich zum entsprechenden Konstantwert umbiegt. Die U_o-Kurve entsteht auch hier wieder aus der Addition der I_k- und $/\mathfrak{R}_i/$-Kurve. Da I_k konstant bleibt, liegt die U_o-Kurve parallel verschoben zur $/\mathfrak{R}_i/$-Kurve. Für beliebige Werte von U_h sind die U_o-Kurven mit Hilfe von I_k somit sofort bestimmbar. Die beiden experimentell aufgenommenen Kurven bestätigen diese einfachen Zusammenhänge.

Die gleichen Gesetzmässigkeiten gestatten auch im Diagramm der ersten Art die sofortige Bestimmung der $/\mathfrak{R}_i/$- und U_o-Kurven für einen beliebigen abweichenden Parameterwert von f, falls dies interessieren sollte. Hier bleibt wegen der Unabhängigkeit des Kurzschlußstromes von f die I_k-Kurve vom Parameterwert praktisch unabhängig und konstant. Ihre Lage ist für die verlangte Frequenz f dem Diagramm der zweiten Art zu entnehmen. Die U_o-Kurve entsteht demnach schliesslich aus einer Parallelverschiebung der I_k-Kurve, wobei die Verschiebungsstrecke durch den Wert von $/\mathfrak{R}_i/$ festgelegt wird.

Was schliesslich die Lage der Kurven in quantitativer Hinsicht anbetrifft, so unterscheiden sich diese für die verschiedenen Isolatorentypen natürlich sehr stark. Grössere Isolatoren für höhere Spannungen haben im allgemeinen auch eine höhere Störeinsatzspannung, doch liegt diese leider fast stets tiefer als die Betriebsspannung, so dass Radiostörungen unvermeidlich sind. Gewisse Veränderungen erfahren auch die Kurvenformen selbst, namentlich diejenigen der Diagramme der ersten Art; die Erscheinungsformen und Zusammenhänge bleiben im wesentlichen aber doch stets dieselben.

Der Temperatur-Koeffizient bei Hitzdraht-Vakuummetern und Vakuumthermoelementen.

Von *E. Kobel*, Baden. 531.788

Bei Hitzdraht-Vakuummetern sowie bei Vakuumthermoelementen ist die Temperaturänderung der im Vakuum liegenden erwärmten Messelemente aus strahlungsenergetischen Gründen geringer als die Temperaturänderung der Umgebung. Der dadurch bedingte Temperaturkoeffizient kann durch Schwärzung der rückstrahlenden Umgebung wesentlich verringert werden.

Pour les vacuomètres à fil chaud ainsi que les thermocouples dans le vide, la variation de température des éléments de mesure dans le vide est plus faible que la variation de température du milieu ambiant, ceci en raison des phénomènes énergétiques de radiation. Le coefficient de température qui en résulte peut être sensiblement réduit par noircissement des surfaces réfléchissantes environnantes.

Das Hitzdrahtvakuummeter beruht auf der bekannten, erstmals von M. v. Pirani zu diesem Zweck angewendeten Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit der Gase vom Druck. Seine Wirkungsweise sei hier nochmals kurz beschrieben:

Die Temperatur eines im Vakuum erwärmten Drahtes ist bestimmt durch das Gleichgewicht zwischen der dem Draht elektrisch zugeführten Leistung und der vom Draht durch die Wärmeleitung längs der Drahtenden, durch die Wärmeleitung des Gases und durch Wärmestrahlung an die umgebenden Wände abgegebenen Leistung. Bei einem dünnen und hinreichend langen Draht ist der durch metallische Leitung längs der Drahtenden nach aussen abgeleitete Leistungsanteil selbst bei sehr kleinen Gasdrücken ein nur geringer Bruchteil der Gesamtleistung. Das Verhältnis der beiden Leistungsanteile, die durch Wärmeleitung und Strahlung vom Draht abgegeben werden, ändert sich nun mit dem Gasdruck, und zwar derart, dass bei grossen Gasdrücken der Anteil der Wärmeleitung, bei kleinen Gasdrücken dagegen der Anteil der Strahlung überwiegt. Dadurch wird mit abnehmendem Gasdruck im Vakuummeter eine Zunahme der Temperatur des Hitzdrahtes bedingt, deren obere Grenze beim Gasdruck $p = 0$ allein durch das Gleichgewicht zwischen zugeführter und durch Strahlung abgegebener Leistung bestimmt ist, abgesehen von dem kleinen Bruchteil, der durch die Drahtenden abgeleitet wird. Besteht nun der Hitzdraht aus einem Leiter mit einem grossen Temperaturkoeffizienten, so ist sein Widerstand ein genaues Mass für seine mittlere Temperatur und damit auch für den Gasdruck im Vakuummeter. Die Widerstandsmessung kann natürlich auf die verschiedensten Arten erfolgen. Bei der Vakuummesseinrichtung für Grossgleichrichter kommt fast ausschliesslich ein Ferrodynamometer als Anzeigeinstrument zur Anwendung [1]).

Schon Pirani hat die Temperaturabhängigkeit seines selbstzeigenden Vakuummessinstrumentes untersucht [2]). Durch Einschalten von genau gleich gebauten Lampenwiderständen mit verschiedenen

[1]) BBC-Mitteilungen 1926, Heft 9, S. 224.
BBC-Mitteilungen 1929, Heft 10, S. 221.

[2]) Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1906, S. 686.