

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 37 (1946)
Heft: 7

Artikel: Fehlerquellen bei der Registrierung hoher Stossspannungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen : ein neuer Hochspannungs-Messwiderstand
Autor: Goossens, R.F. / Provoost, P.G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061096>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

Je pourrai d'ailleurs déposer au Secrétariat de l'UCS un rapport¹⁾ dans quelques mois, dès que seront connus les résultats de l'exercice 1945.

L'augmentation des consommations a été considérable. Il est cependant difficile de déterminer dans quelle proportion cette augmentation est due aux circonstances de guerre d'une part, et au tarif binôme d'autre part. Mais il est un fait certain: la possibilité de brancher, à n'importe quelle prise de l'appartement, un appareil quelconque, thermique ou autre, sans être obligé de procéder à une installation coûteuse, a incité un nombre important d'abonnés à acquérir de nombreux appareils électriques.

Nous avons aussi, grâce à ces tarifs, réussi à développer considérablement l'éclairage domestique et l'éclairage industriel, assurant ainsi à nos recettes une stabilité que nous n'aurions jamais obtenue par le maintien de tarifs désuets.

Aujourd'hui, nous pouvons dire que plus du 90 % de nos 4000 abonnés, pour l'éclairage et les usages domestiques, utilisent, sans qu'ils leur aient été imposés, les tarifs binômes.

¹⁾ Ce rapport est à disposition des membres de l'UCS au secrétariat.

E. Frei, Davos: Ich danke allen Diskussionsrednern. Ich wäre Herrn Jaquet sehr dankbar, wenn er seine Erfahrungen in einem Bericht zusammenfassen und dem Sekretariat des VSE zustellen würde. Nachdem die Diskussion nicht mehr benützt wird, möchte ich alle Anwesenden bitten, sich beim Studium von Tariffragen an den VSE zu richten und ihm auch allfällige Erfahrungen bekanntzugeben.

Le Président de l'UCS (R. A. Schmidt): Nous ne voulons pas perdre de temps. Je voudrais simplement que nous ne sortions pas de la salle avant que j'aie remercié la Commission des Tarifs, son président actuel, M. Frei, son prédécesseur, M. Niesz, pour tout l'intéressant travail qu'ils font. Je remercie les deux rapporteurs d'aujourd'hui, MM. Rosenthaler et Aeschmann, ainsi que tous ceux qui ont pris part à la discussion. Il est évident qu'on ne peut pas unifier les tarifs dans toute la Suisse, c'est-à-dire faire un tarif unique valable pour toutes les entreprises. Cependant, si le peuple suisse avait connaissance de la multiplicité des tarifs en Suisse, il en serait peut-être effrayé. Il faut donc chercher à simplifier autant que possible et réduire à quelques tarifs types le nombre des tarifs en vigueur. Je vous invite tous à suivre, dès que vous les aurez, les recommandations de la Commission des Tarifs.

Fehlerquellen bei der Registrierung hoher Stoßspannungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen

Ein neuer Hochspannungs-Messwiderstand

von R. F. Goossens und P. G. Provoost, Arnhem

Mitteilung aus dem Laboratorium der N. V. tot Keuring van Electrotechnische Materialen in Arnhem (Holland)

621.317.755

Bei der Registrierung von hohen Stoßspannungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen unter Verwendung der üblichen Schaltungen treten Messfehler auf, deren Grösse auf theoretischem und experimentellem Weg ermittelt wird. Es werden behandelt:

1. Der Hochspannungsteil des Spannungsteilers, wobei eine neue einfache Bauart eines kapazitiv gesteuerten Widerstandsspannungsteilers beschrieben wird.

2. Messungen an einem Verzögerungskabel. Hieraus geht hervor, dass für genaue Messungen kurze Kabel mit geringem Leiterwiderstand und Abschluss mit dem Wellenwiderstand an beiden Kabelenden die besten Resultate ergeben; der Abschlusswiderstand kann rein ohmisch sein.

3. Die Aufstellung von Prüfling und Spannungsteiler. Hier können Fehler durch Einschwingvorgänge im Kreis Prüflingskapazität — Spannungsteilerkapazität — Induktivität der Verbindungsleitungen auftreten. Dieser Einschwingvorgang wird dem Stoss überlagert und verteilt sich ungleich über Prüfling und Spannungsteiler.

Lors de l'enregistrement de tensions de choc élevées à l'aide d'oscillographes cathodiques et de couplages usuels, il se produit des erreurs de mesure, dont la grandeur est déterminée théoriquement et par des expériences. Les auteurs s'occupent des problèmes suivantes:

1. Partie haute tension du diviseur de tension. Description d'un nouveau potentiomètre à commande capacitive, d'un modèle très simple.

2. Mesures d'un câble retardateur. Pour obtenir des mesures précises, il est préférable d'utiliser des câbles courts, dont les deux extrémités sont reliées à la résistance d'onde, qui peut être purement ohmique.

3. Montage de l'objet à essayer et du potentiomètre. Des erreurs peuvent provenir des oscillations en régime transitoire dans le circuit constitué par la capacité de l'objet à essayer, la capacité du potentiomètre et l'inductance des lignes de raccordement. Ces oscillations se superposent au choc et se répartissent d'une manière inégale entre l'objet à essayer et le potentiomètre.

Einleitung

Die Registrierung hoher Stoßspannungen mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen (KO) geschieht üblicherweise unter Verwendung eines Widerstandsspannungsteilers, dessen hochohmiger Hochspannungsteil in der Nähe des Prüflings aufgestellt wird und durch ein Verbindungskabel (Verzögerungskabel) mit dem niederohmigen Teil verbunden ist, an welchem die Spannung für die Ableitplatten abgegriffen wird.

Wir werden uns bei unseren Betrachtungen ausschliesslich mit dieser Grundschaltung befassen und wollen untersuchen, welche Fehler bei der Registrierung schneller Vorgänge auftreten können. Diese Fehler lassen sich in drei Gruppen einteilen.

I. Der Hochspannungsteil des Widerstandsspannungsteilers

Die Forderung für fehlerfreies Funktionieren des Hochspannungswiderstandes lässt sich sehr einfach zum Ausdruck bringen: Der aus dem Widerstand in das Verzögerungskabel eintretende Strom soll bis zu den höchsten Frequenzen ein getreues Bild der an dem Widerstand liegenden Spannung sein, d. h. der Widerstand soll rein ohmisch und frequenzunabhängig sein. Bei der grossen räumlichen Ausdehnung, welche Spannungsteiler für hohe Spannungen erhalten, ist diese Forderung nicht ohne weiteres erfüllbar. Unter Hinweis auf die Literatur^{1) 2) 3)} soll hier nur erwähnt werden, dass

¹⁾ Die Nummern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss dieses Aufsatzes.

zwar Induktivität und Eigenkapazität auch bei drahtgewickelten Widerständen genügend klein gehalten werden können, dass aber die Kapazität gegen Erde des frei im Raum aufgestellten Widerstandes bei höheren Frequenzen den rein ohmschen Charakter beeinträchtigt. Demzufolge ist der in das Verzögerungskabel bei höheren Frequenzen eintretende Strom viel kleiner als der dem Ohmwert des Widerstandes entsprechende. Dieser Fehler macht sich besonders in einer verzerrten Wiedergabe bei Vorgängen grosser Steilheit bemerkbar.

Von verschiedenen Autoren^{1) 3) 4)} sind zur Beseitigung des schädlichen Einflusses der Kapazität gegen Erde Mittel angegeben worden, die ausnahmslos auf folgendem Grundprinzip beruhen: Dem Spannungsteilerwiderstand wird mittels kapazitiver Steuerung eine Spannungsverteilung aufgedrückt, welche sich mit der ohmschen (linearen) Spannungsverteilung deckt. Es ist klar, dass die Erfüllung dieser Voraussetzung die durch die Erdkapazitäten des Widerstandes bedingten Fehler beseitigt, denn je nach der Bauart werden die Erdkapazitäten ganz eliminiert (Spannungsteiler nach Berger) oder der nach Erde abfliessende kapazitive Strom wird von Steuerkondensatoren geliefert (Bauart Elsner).

Für die kapazitive Steuerung wird meistens eine Anzahl Hochspannungskondensatoren benutzt. Um mit ihnen eine lineare Spannungsverteilung zu erreichen, muss aber die Erdkapazität dieser Kondensatoren mitberücksichtigt werden, d. h. die Kondensatoren müssen dem Kapazitätswert nach so abgestuft sein, dass sie zusammen mit ihren Erdkapazitäten eine lineare Spannungsverteilung ergeben. Diese Forderung, worauf schon Zinke⁵⁾ hingewiesen hat, ist unseres Wissens bei den wirklich ausgeführten Spannungsteilern nicht erfüllt.

Die Anwendung von Hilfskondensatoren erfordert jedoch bei hohen Spannungen Konstruktionen, welche kaum noch als transportabel anzusehen sind. Ausserdem erhalten solche Spannungsteiler eine Kapazität in der Grössenordnung von einigen Hundert pF, was, wie wir später sehen werden, unerwünscht ist.

Andererseits wird von der Firma Trüb, Täuber & Co., Zürich, eine Steuerung angestrebt, bei welcher der eigentliche Messwiderstand von Schirmwiderständen umgeben ist. Es ist klar, dass die Spannungsverteilung den Schirmwiderständen entlang durch die Erdkapazität dieser Widerstände gestört wird und nicht linear ist. Diese nicht lineare Spannungsverteilung wird über die Kapazität zwischen Schirm- und Messwiderstand auf diesen übertragen, und prinzipiell hat dieser Spannungsteiler dieselben Fehler wie der ungeschirmte Widerstand. Versuche, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, haben gezeigt, dass ein Messwiderstand mit Schirmwiderständen grössere Fehler aufweist als ein ungeschirmter Widerstand, dessen Wert in Ohm dem resultierenden Wert von Mess- und Schirmwiderständen entspricht.

Im folgenden wird ein Hochspannungsmesswiderstand beschrieben, der im KEMA-Laboratorium entwickelt wurde und ohne Anwendung von

Hilfskondensatoren fehlerfrei arbeitet. Das Wegfallen der Kondensatoren ermöglicht auch bei hohen Spannungen eine einfache, transportable Konstruktion und erniedrigt ausserdem die Baukosten sehr beträchtlich.

Der neue Spannungsteiler ist in Fig. 1 im Schnitt dargestellt. Der Messwiderstand, aus Silko-

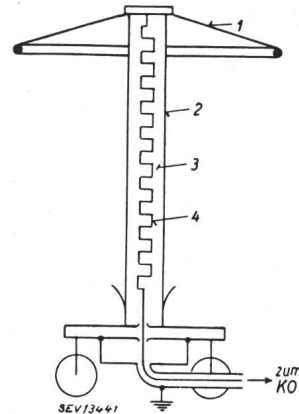


Fig. 1.

Spannungsteiler der KEMA

- 1 Spannungsschirm
- 2 Hartpapierrohr
- 3 Oelfüllung
- 4 Silko-Widerstand

standsband hergestellt, ist in einem ölfüllten Hartpapierzylinder eingebaut. An den beiden Enden des Messwiderstandes befinden sich die Elektroden zur Steuerung des Feldes, nämlich der spannungsführende Schirm und der geerdete Fuss.

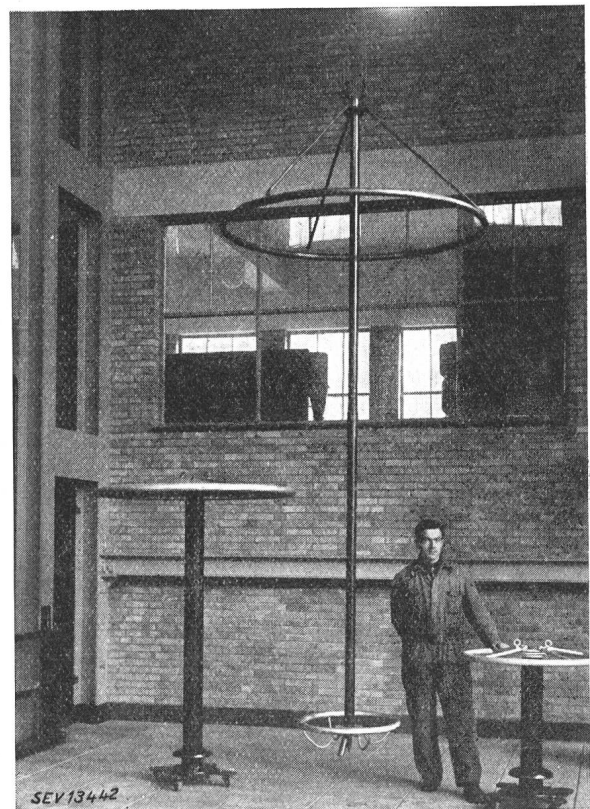


Fig. 2.

Spannungsteiler der KEMA für 2000, 1000 und 300 kV

Fig. 2 zeigt drei solcher Spannungsteiler für 2000, 1000 und 300 kV.

Bei den in Fig. 1 gezeichneten Verhältnissen wird die von den beiden Steuerelektroden bedingte kapazitive Spannungsverteilung dem Hartpapier-

rohr entlang nicht linear sein. Die wirklich auftretende kapazitive Spannungsverteilung wurde mit ausgebautem Messwiderstand für einen 2 m langen 1000-kV-Spannungsteiler mit Wechselspannung von 70 kV Effektivwert und einer Frequenz von 50 Hz bestimmt. Diese Messung geschah nach der üblichen Methode mit einer regelbaren Hilfsspannung und einer Glimmröhre als Nullindikator. Das Ergebnis ist in Fig. 3 durch die voll ausgezogene Kurve dargestellt. Es zeigt sich, dass die kapazitive Spannungsverteilung stark vom linearen Verlauf abweicht. Statt nun den üblichen Kunstgriff — die Verwendung von Hilfskondensatoren zur Erzwingung einer linearen kapazitiven Spannungsverteilung — anzuwenden, wurde in dem Spannungsteiler nach Fig. 1 anders vorgegangen, und zwar wurde die gefundene

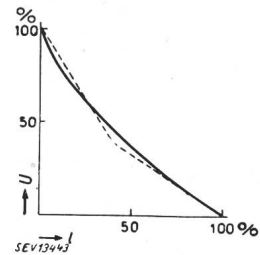


Fig. 3.
Kapazitive und ohmsche Spannungsverteilung am KEMA-Spannungsteiler
U Spannung l Länge
— Kapazitive Spannungsverteilung
--- Ohmsche Spannungsverteilung

kapazitive Spannungsverteilung nicht verändert, sondern der Ohmwert des Messwiderstandes wurde so abgestuft, dass die ohmsche Spannungsverteilung die in Fig. 3 angegebene kapazitive Verteilung praktisch genau deckt. Diese Lösung ist sehr einfach zu verwirklichen, indem man die voll ausgezogene Kurve (Fig. 3) durch eine angenäherte gebrochene Gerade ersetzt und die entsprechenden Teile des Messwiderstandes so bemisst, dass die ohmsche Spannungsverteilung dieser gebrochenen Geraden folgt. Benutzt man wie in unserem Fall Silkoband, so bieten die verschiedenen Bandsorten genügende Auswahl zur Erreichung dieses Ziels.

Als Beispiel ist in Fig. 3 die gebrochene Gerade gestrichelt wiedergegeben, nach welcher der Widerstand für den betreffenden 1000-kV-Spannungsteiler ausgelegt wurde. Wie aus Abb. 3 hervorgeht, besteht diese Gerade nur aus 2 Teilen, also auch der Messwiderstand. Die Versuche werden aber zeigen, dass diese verhältnismässig grobe Annäherung zwischen kapazitiver und ohmscher Spannungsverteilung für die schnellsten Vorgänge, welche in der Praxis auftreten, ausreicht.

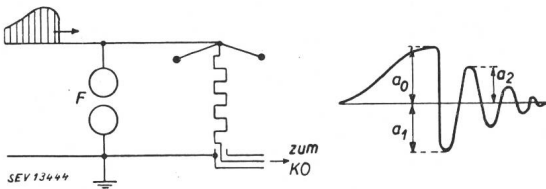


Fig. 4.
Schaltung zur Nachprüfung des Spannungsteilers

Um diesen experimentellen Nachweis zu erbringen, wurden mit einem KO Aufnahmen gemacht, wobei der Spannungsteiler nach Fig. 4 geschaltet wurde. Eine Stosswelle wird durch Ueberschlag der Funkenstrecke F auf ihrem Scheitelwert abgeschnitten. Der Kreis, gebildet von der Kapazität

des Spannungsteilers, der Induktivität der Zuleitungen und der zum Ueberschlag gebrachten Funkenstrecke, klingt somit in einer gedämpften Schwingung aus. Der zu erwartende Spannungsverlauf ist ebenfalls in Fig. 4 dargestellt. Man kann nachweisen, dass der Spannungsverlauf der gedämpften Schwingung gegeben ist durch:

$$u = \hat{u} \left\{ \varepsilon^{-at} \cos \omega t + \frac{a}{\omega} \varepsilon^{-at} \sin \omega t \right\}.$$

Hierbei ist:

$$a = \frac{1}{2RC} \text{ und } \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}.$$

Da meistens $\frac{a}{\omega} \ll 1$ ist, so ergibt sich:

$$u = \hat{u} \varepsilon^{-at} \cos \omega t.$$

Für die Amplituden a_0, a_1, a_2 (Fig. 4) gilt dann:

$$\frac{a_0}{a_1} = \frac{a_1}{a_2}.$$

Die Oszillogramme Fig. 5 geben einige Aufnahmen, welche mit der Schaltung nach Fig. 4 gemacht wurden. Zum Vergleich wurden sowohl Aufnahmen

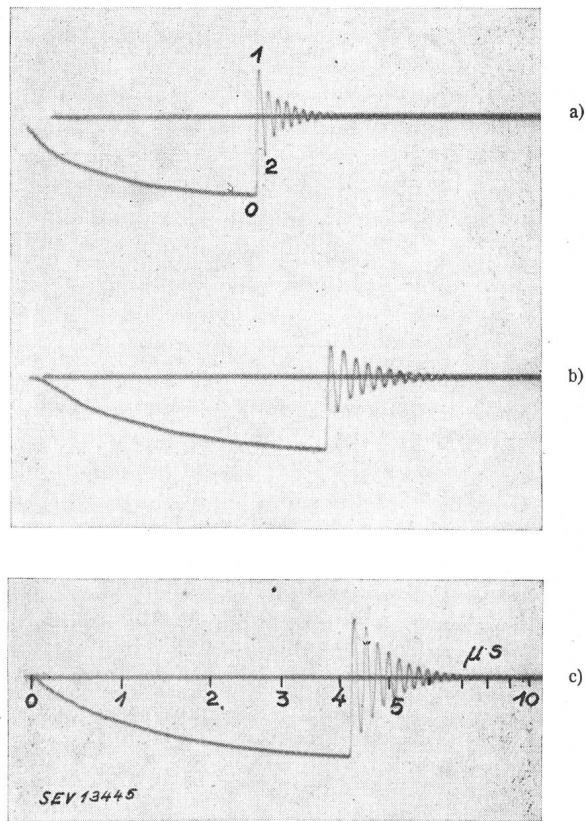


Fig. 5.

Ueberschlag einer Kugelfunkenstrecke

- a) nichtlinearer Widerstand
7 MHz; $\frac{a_0}{a_1} = 1,33, \frac{a_1}{a_2} = 1,24$
- b) linearer Widerstand
4 MHz; $\frac{a_0}{a_1} = 2,06, \frac{a_1}{a_2} = 0,87$
- c) nichtlinearer Widerstand
4 MHz; $\frac{a_0}{a_1} = 1,16, \frac{a_1}{a_2} = 1,11$

mit linearem, d. h. nichtangepasstem Widerstand, als auch mit nichtlinearem, d. h. abgestuftem Widerstand gemacht. Zu den Amplitudenverhältnissen $\frac{a_0}{a_1}, \frac{a_1}{a_2}$ usw. ist noch zu bemerken, dass die Amplitude a_0 auch bei schlecht abgeglichenem Spannungsteiler fehlerfrei registriert wird, da es sich um einen verhältnismässig langsamen Vorgang handelt. Dagegen werden die Amplituden a_1, a_2 usw. bei fehlerhaft funktionierendem Spannungsteiler stark gedämpft, sodass gerade der Vergleich von $\frac{a_0}{a_1}$ und $\frac{a_1}{a_2}$ ein scharfes Kriterium für die Qualität des Spannungsteilers bildet. Allerdings ist bei der Ausmessung der Oszillogramme die beträchtliche Dämpfung des Verzögerungskabels bei diesen hohen Frequenzen zu berücksichtigen. Wir werden diese Dämpfung im nächsten Abschnitt näher betrachten.

Wie aus den Oszillogrammen Fig. 5 hervorgeht, ist der Spannungsteiler mit abgestuftem Widerstand nach der gestrichelten Kurve Fig. 3 bei Frequenzen von 7 MHz noch praktisch richtig, während der lineare Widerstand im nichtlinearen Feld bei 4 MHz noch erhebliche Fehler aufweist. Die fehlerfreie Wiedergabe aller Frequenzen bis 7 MHz genügt für den praktischen Gebrauch vollkommen, da bei hoher Spannung die räumliche Ausdehnung der Messkreise dem Auftreten hoher Frequenzen eine Grenze stellt.

Man könnte meinen, dass nach dem hier angegebenen Prinzip der obere Schirmring des Spannungsteilers ganz weggelassen werden könnte; man hätte bloss die kapazitive Spannungsverteilung neu zu bestimmen und den Messwiderstand entsprechend abzustufen. Der Nachteil der Anordnung ohne Schirmring liegt aber in der Störanfälligkeit für elektrische Fremdfelder, welche z. B. von Zuleitungsdrähten, in der Nähe stehenden Objekten und dergleichen gebildet werden. Die Hochspannungsschirmelektrode eliminiert diesen Fremdfeld einfluss weitgehend.

Es sei hier noch betont, dass wir es als einen Vorteil betrachten, wenn der Spannungsteiler nach Fig. 1 eine niedrige Kapazität (Grössenordnung 50...100 pF) und einen hohen ohmschen Widerstand (25...40 Ω /kV) besitzt. Der Spannungsteiler hat dadurch einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Einstellung der Stosskreise. Andere neuzeitliche Konstruktionen, bei denen die Steuerkapazität gleichzeitig Belastungskapazität oder der Mess- (Schirm-)widerstand gleichzeitig Entladewiderstand des Stossgenerators ist, sind an feste Schaltungen und oft auch an den Aufstellungsort gebunden, ganz abgesehen davon, dass Messfehler auftreten, die durch den grossen Wert der Steuerkapazität entstehen können (siehe Abschnitt III).

II. Das Verzögerungskabel und der niederohmige Teil des Spannungsteilers

Da sich der Ausdruck «Verzögerungskabel» für die Verbindungsleitung zwischen dem hoch- und niederohmigen Teil des Spannungsteilers eingebürgert hat, werden wir ihn auch hier benutzen, ob-

gleich u. E. dieser Ausdruck überholt ist, da die für den KO-Betrieb erforderliche Zeitverzögerung auch auf anderem Wege gefunden werden kann. Die Länge des Verzögerungskabels wird in diesem Falle nur durch die räumlichen Verhältnisse bedingt.

Im Kabel können Fehler durch Dämpfung, Verzerrung und Reflexion am Abschlusswiderstand auftreten. Die Grössen dieser Fehler hängen von den Kabelcharakteristiken ab und fallen deshalb für jedes Kabel anders aus. Es sollen hier einige Messresultate mitgeteilt werden, welche an einem Kabel von folgendem Aufbau gefunden wurden:

Kupferleiter (Litze, Drähte nicht einzeln isoliert)	4 mm ²
Isolationsstärke (verlustarme Gummi-Oppanolmischung)	2,0 mm
Kupferumflechtung über Isolation	2,5 mm ²
Bleimantelstärke	0,8 mm
Die elektrischen Grössen sind folgende:	
Kapazität bei 50 Hz	186 pF/m
Fortpflanzungsgeschwindigkeit (oszillographisch gemessen)	143 m/ μ s
Wellenwiderstand (oszillographisch für Rechteckwellen bestimmt)	37,5 Ω
Induktivität (aus $Z = \sqrt{L/C}$)	0,26 μ H/m

Von diesem Kabel wurde zuerst die Dämpfung für hochfrequente Schwingungen in Funktion der Kabellänge bestimmt. Hiezu wurden dem Kabel gedämpfte Schwingungen zugeführt und die Am-

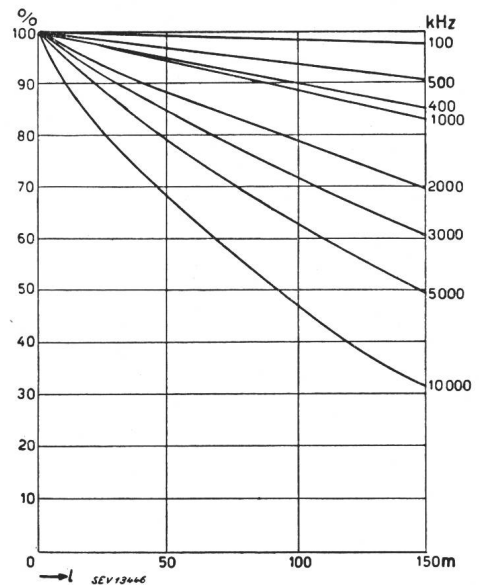


Fig. 6. Dämpfung für hochfrequente Schwingungen über Kabellänge

plitude am Kabeleingang bzw. nach Durchlaufen von 35, 100 und 165 m bestimmt. Die Messergebnisse sind in Fig. 6 zusammengestellt. Wie zu erwarten war, nimmt die Dämpfung im allgemeinen mit zunehmender Frequenz wegen der mit der Frequenz ansteigenden Verluste (Stromverdrängung, Ableitung) zu. Es zeigt sich sofort, dass schon bei Kabellängen von 100...150 m und verhältnismässig niedrigen Frequenzen erhebliche Fehler beim Registrieren schneller Vorgänge infolge der bei diesen Kabellängen schon merklichen Dämpfung der Komponenten auftreten werden. Inwiefern sich

diese Fehler bei den üblichen Stoßspannungswellen bemerkbar machen, wäre an Hand der Kurven Fig. 6 zu errechnen, wenn die Stoßspannungskurven in ihre Komponenten zerlegt und für jede Komponente die Dämpfung bestimmt würde. Diese ausserordentlich umständliche Rechenarbeit wurde durch direkte Messung umgangen.

Hiezu wurden dem Kabel Stöße der Form 1|50 und 1|5, sowie auf halber Stirnhöhe abgeschnittene 1|50-Stöße zugeführt. Die Amplitude wurde am Kabeleingang sowie nach 35, 100 und 165 m Laufweg mit dem KO gemessen. Da sich die Unterschiede in der Grössenordnung von einigen Prozenten bewegen, mussten bei diesen Messungen folgende Massnahmen getroffen werden, damit eine Registriergenauigkeit von einigen Zehntelprozent erreicht wird:

1. Die Glättung der Strahlspannung des KO wurde so reichlich bemessen, dass die Welligkeit dieser Spannung innerhalb 0,3 % blieb.
2. Die Strahlspannung wurde direkt mit dem Hochohm-widerstand und dem Mikroamperemeter gemessen und innerhalb 0,3 % konstant gehalten.
3. Die zugeführten Stosswellen wurden möglichst konstant gehalten (bei der abgeschnittenen Welle war Bestrahlung der Funkenstrecke nötig) und das Mittel aus wenigstens 20 Stössen gebildet.
4. Die einzelnen Aufnahmen wurden von 2 Personen unabhängig voneinander ausgemessen.

Wir glauben auf diese Weise bei tadelloser Schreibschärfe eine relative Genauigkeit der Messungen von 0,5 % erreicht zu haben, da ja die unter 1 und 2 genannten Fehlermöglichkeiten durch die Mittelwertbildung grösstenteils unschädlich gemacht werden.

Das Ergebnis dieser Messungen ist in Tabelle I wiedergegeben.

Tabelle I

Wellenform	Amplitudenabnahme in % nach		
	35 m	100 m	165 m
1 50-Vollstoss	0,34	1,08	2,70
1 5-Vollstoss	0,53	2,63	4,20
1 50-Stoss, auf halber Stirnhöhe abgeschnitten	1,15	3,57	6,67

Aus diesen Werten geht hervor, dass bei Kabellängen von 100 m und mehr Amplitudenfehler von einigen % leicht auftreten, und die Spannungsmessung mit dem KO wird dadurch, unter Berücksichtigung des Uebersetzungsverhältnisses des Spannungsteilers, recht ungenau. Aus diesem Grund wird im KEMA-Laboratorium schon seit einiger Zeit für genaue Messungen nur noch das 35 m lange Verzögerungskabel benutzt.

Weitere Fehler in den Oszillogrammen können dadurch entstehen, dass das Verzögerungskabel am Ende nicht richtig abgeschlossen wird. Es wird sich zeigen, dass der Wellenwiderstand des untersuchten Kabels sowohl in der absoluten Grösse, als auch in der Phase eine Frequenzabhängigkeit besitzt, sodass bei Abschluss mit einem rein ohmschen Widerstand Reflexionen auftreten.

Der Phasenwinkel des Wellenwiderstandes wurde in der Schaltung nach Fig. 7 gemessen. Die Fun-

kenstrecke *F* wird durch einen Stoss zum Ansprechen gebracht, worauf der *L-C*-Kreis in einer gedämpften Schwingung ausklingt. Das Plattenpaar I des KO wird über dem induktionsfreien Widerstand *R* angeschlossen, und die Ablenkspannung

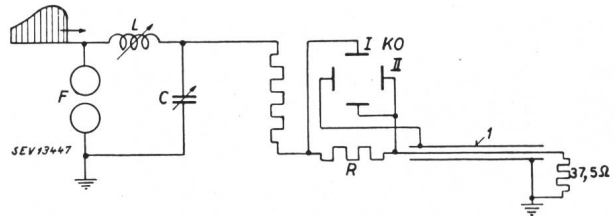


Fig. 7.
Schaltung zur Messung des Phasenwinkels des Wellenwiderstandes
1 Verzögerungskabel

ist somit gleich *iR*, wobei *i* der in das Kabel eintretende Strom ist. Das Plattenpaar II registriert die Spannung zwischen Leiter und Bleimantel und somit den Wert *iZ*.

Hat *Z* den Phasenwinkel Null, so zeigt das Oszillogramm eine Gerade; andernfalls wird eine Ellipse registriert. Diese Messungen wurden in dem Frequenzbereich von 100...2000 kHz durchgeführt; ein Beispiel zeigt Fig. 8 für 750 kHz. Aus diesen

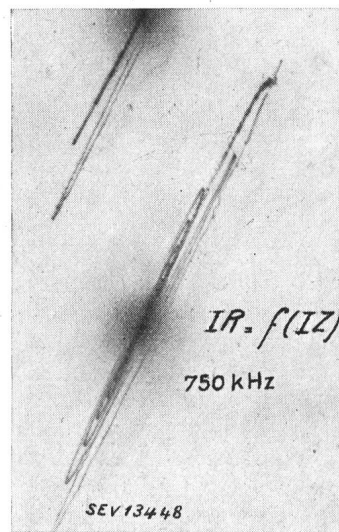


Fig. 8.
Aufnahme mit der Schaltung nach Fig. 7

Messungen konnte der Phasenwinkel φ des Wellenwiderstandes grössenordnungsmässig bestimmt werden. Der Verlauf ist in Fig. 9 durch die ausgezogene Kurve wiedergegeben. Das Auftreten von Phasenwinkeln mit wechselndem Vorzeichen hängt mit dem Verlauf des Leiterwiderstandes *R* und der Ableitung *G* in Funktion der Frequenz zusammen.

Es ist

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{\frac{G}{\omega C} - \frac{R}{\omega L}}{1 + \frac{G}{\omega C} \cdot \frac{R}{\omega L}}$$

Je nachdem der Leiterwiderstand (durch Stromverdrängung) oder die Ableitung (durch dielek-

trische Verluste) überwiegt, zeigt der Wellenwiderstand einen kapazitiven oder induktiven Charakter. Wie aus Fig. 9 hervorgeht, ist das untersuchte Kabel im Frequenzgebiet von 350...530 kHz induktiv.

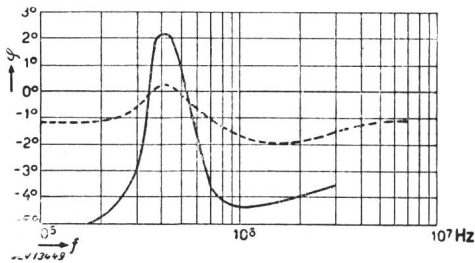


Fig. 9.

Phasenwinkel von Z

— gemessen, - - - - - berechnet

Wir kehren jetzt zurück zur Fig. 6 und sehen, in Uebereinstimmung mit dem Vorhergehenden, dass die Dämpfung bei 400 kHz grösser ist als bei 500 kHz. Die Kurven Fig. 6 können in der Form

$$u_l = \hat{u} \varepsilon^{-\alpha \frac{l}{v}}$$

geschrieben werden, wo

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{R} + \frac{G}{C} \right)$$

In diesen Formeln bedeuten:

- R Leiterwiderstand pro Längeneinheit
- L Selbstinduktivität pro Längeneinheit
- C Kapazität pro Längeneinheit
- G Ableitung pro Längeneinheit
- l Kabellänge
- v Fortpflanzungsgeschwindigkeit

Aus den Kurven Fig. 6 kann der Wert des Faktors α bestimmt werden; das Ergebnis ist in Fig. 10 graphisch dargestellt. Deutlich tritt die von den dielektrischen Verlusten bedingte Abweichung im Frequenzbereich von 300...500 kHz hervor. Wir haben gesehen, dass ausserhalb dieses Frequenzbereiches der Wellenwiderstand kapazitiven Charakter hat, d. h. der Einfluss des Leiterwiderstandes überwiegt denjenigen der Ableitung. Vernachlässigt man die Ableitung vollständig, so kann man aus

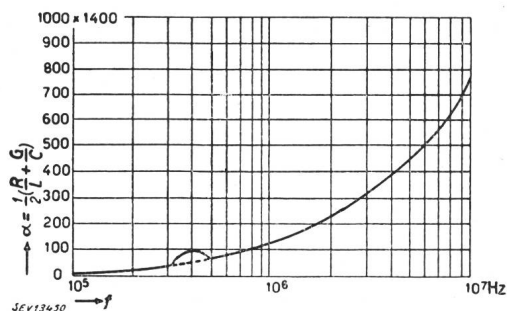


Fig. 10.

Dämpfungsfaktor (α) in Funktion der Frequenz (f)

den α -Werten einen guten Eindruck über den Verlauf des Leiterwiderstandes in Funktion der Frequenz bekommen, der der Grössenordnung nach auf alle Fälle richtig ist. Das Berechnungsergebnis

ist in Fig. 11 dargestellt und stimmt bei niedrigen Frequenzen gut mit dem Wert des Gleichstromwiderstandes überein. Der starke Einfluss der Stromverdrängung bei höheren Frequenzen ist ohne weiteres erkennbar.

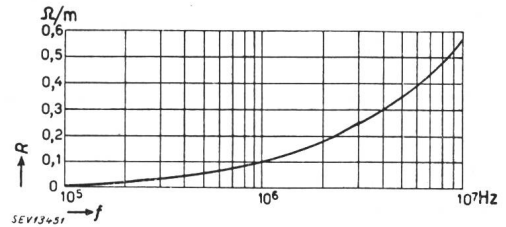


Fig. 11.

Widerstand des Leiters (R in $\frac{\Omega}{m}$) in Funktion der Frequenz (f)
 Gleichstromwiderstand des Leiters = $0,005 \frac{\Omega}{m}$

Aus dem angeführten Ausdruck für φ kann der Phasenwinkel jetzt auch in Funktion der Frequenz, unter Vernachlässigung der Ableitung ausserhalb des Frequenzbereiches von 300...500 kHz, berechnet werden. Das Ergebnis ist in Fig. 9 durch die gestrichelte Kurve angegeben und stimmt qualitativ gut mit der direkten Messung überein.

Wir sehen also, dass der Wellenwiderstand des Kabels für den grössten Teil des Frequenzbereiches zufolge des Einflusses des Leiterwiderstandes kapazitiven Charakter hat und dass der Phasenwinkel nur einige Grad beträgt.

Es ist also kaum zu erwarten, dass bei Abschluss des Kabels mit einem rein ohmschen Widerstand merkliche Reflexionen auftreten werden. Wir sehen auch, dass der von Angelini⁷⁾ empfohlene komplexe Abschluss für das untersuchte Kabel mit dem schwankenden Phasenwinkel kaum durchführbar wäre, sollte doch diese Abschlussimpedanz denselben Phasenwinkelverlauf wie das Kabel aufweisen.

Eine oszillographische Messung, die wir hier als Beispiel anführen wollen, soll die Richtigkeit des rein ohmschen Kabelabschlusses nachweisen.

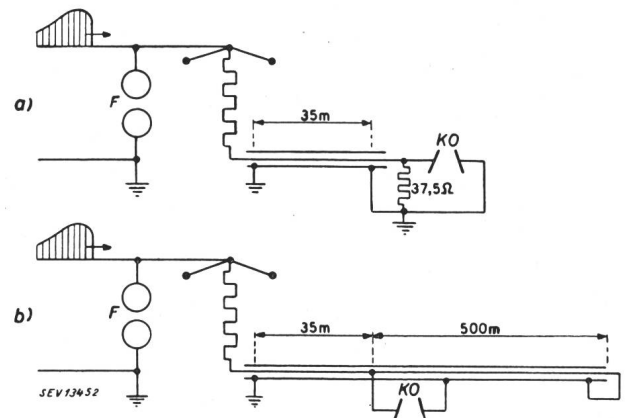


Fig. 12.

- a) Verzögerungskabel mit rein ohmschem Widerstand abgeschlossen
- b) Verzögerungskabel mit komplexem Abschluss

Es wird sich dabei gleichzeitig eine neue Fehlermöglichkeit herausstellen.

Entsprechend den Schaltungen nach Fig. 12a und 12b wurden mit dem KO Aufnahmen des Span-

nungsverlaufs beim Durchbruch der Funkenstrecke F gemacht. Einmal (Fig. 12a) geschah dies mit einem 35 m langen Kabel mit dem üblichen Widerstandsabschluss ($37,5 \Omega$), das andere Mal (Fig. 12b) war das 35 m lange Kabel mit einem 500 m langen Kabel derselben Konstruktion abgeschlossen. Dieses war am Ende kurzgeschlossen (die reflektierte Welle stört aber wegen der grossen Laufzeit unseren Vorgang nicht). In Fig. 13 sind die beiden Oszillogramme bei genau gleicher Einstellung der

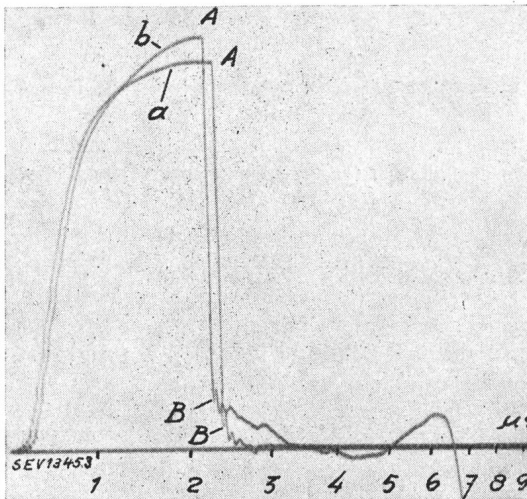


Fig. 13.

Aufnahmen mit den Schaltungen nach Fig. 12a und 12b

Funkenstrecke über derselben Zeitachse geschrieben. Wir sehen, dass die beiden Wellenfronten im steilen Anstieg einander vollkommen gleich sind. Im weiteren Verlauf wird aber im Fall b eine wesentlich höhere Spannung registriert als im Fall a. Der sehr steile Spannungszusammenbruch weist dagegen in beiden Oszillogrammen wieder genau dieselbe Höhe AB auf. Das heisst also, dass für schnelle Vorgänge (Wellenstirn, Durchschlag) Widerstandsabschluss und Kabelabschluss identisch sind, für den langsameren Spannungsverlauf in der Nähe des Scheitelwertes aber nicht. Dies lässt sich nur dadurch erklären, dass sich der Absolutwert des Wellenwiderstandes bei verhältnismässig langsamen Vorgängen (niedrigen Frequenzen) erhöht. Da der aus dem hochohmigen Teil des Spannungsteilers in das Kabel eintretende Strom durch Aenderungen des Wellenwiderstandes nicht beeinflusst wird, sind die nach Fig. 12b an den Ablenkplatten des KO entstehenden Spannungsschwankungen direkt von den Aenderungen des Wellenwiderstandes bedingt. Diese Schaltung, die sozusagen den Idealfall darstellen sollte, erweist sich also für den praktischen Gebrauch als unzuverlässig, da das Spannungsteilerverhältnis frequenzabhängig ist. Das heisst aber auch, dass der reine Widerstandsabschluss für schnelle Vorgänge richtig ist, für langsame jedoch nicht, weil er für diesen Fall einen falschen Widerstandswert in Ohm aufweist.

Die Zunahme des Wellenwiderstandes bei niedrigen Frequenzen ist erklärlich, wenn wir für den Wellenwiderstand von dem vollständigen Ausdruck

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

ausgehen. Für niedrige Frequenzen ist die Ableitung G vernachlässigbar klein, während der Leiterwiderstand R konstant und ungefähr gleich dem Gleichstromwiderstand ist. Man sieht sofort, dass der Ausdruck für Z bei Vernachlässigung der Ableitung und konstantem R mit abnehmender Frequenz zunimmt. Denselben Einfluss hat die Zunahme der Kabelinduktivität L , welche bei abnehmender Frequenz durch das Wegfallen der Stromverdrängung auftritt.

Es fragt sich jetzt, welche Messfehler durch die Veränderlichkeit des Wellenwiderstandes entstehen können. Wir setzen voraus, dass das Kabel einen reinen Widerstandsabschluss hat, welcher dem Wert des Wellenwiderstandes bei hoher Frequenz entspricht.

Der aus dem hochohmigen Teil des Spannungsteilers in das Kabel fliessende Stoßstrom $i(t)$ wird an dem Abschlusswiderstand R , sofern es sich um Komponenten hoher Frequenz handelt, nicht reflektiert und es wird vom KO die richtige Spannung $i(t) \cdot R$ registriert. Die Komponenten niedriger Frequenz werden an dem Abschlusswiderstand aber zum Teil reflektiert, und zwar ist, weil Z zunimmt, die Spannungsreflexion $\Delta_1 u(t)$ negativ und die Stromreflexion $\Delta_1 i(t)$ positiv. Für die Spannung an den Ablenkplatten des KO gilt:

$$\{i(t) + \Delta_1 i(t)\}R = u(t) + \Delta_1 u(t).$$

Der reflektierte Stoßstrom $\Delta_1 i(t)$ läuft zum Kabelanfang zurück und wird dort am hochohmigen Spannungsteilerwiderstand praktisch vollständig unter Umkehrung des Vorzeichens reflektiert, sodass nach der doppelten Kabellaufzeit $2t_1$ am Abschlusswiderstand die Spannung

$$\{i(t) + \Delta_1 i(t) - \Delta_1 i(t - 2t_1)\}R = i(t) \cdot R$$

entsteht, sofern man Reflexionen von Reflexionen vernachlässigt. Es wird also nur über die Zeit $2t_1$ eine zu hohe Spannung registriert und der Fehler wird kleiner, je kürzer das Kabel ist. Praktisch machte sich dieser Fehler bei den Messungen in eigentümlicher Weise bemerkbar, und zwar derart, dass bei der beschriebenen Bestimmung der Amplitudenabnahme in Funktion der Kabellänge für normale Stosswellen (Tab. I) bei grösser werdenden Kabellängen für den 1/50-Vollstoss eine Zunahme statt einer Abnahme der Amplitude festgestellt wurde. Die mit zunehmender Kabellänge bedingte Laufzeitvergrößerung machte den positiven Reflexionsfehler immer deutlicher bemerkbar, und zwar überwog dieser Fehler gegenüber der gesuchten Amplitudendämpfung. Zur Ermittlung der Zahlen der Tabelle I musste dann auch ein Kunstgriff angewendet werden, der den positiven Reflexionsfehler beseitigt. Dieser Kunstgriff ist sehr einfach und besteht darin, dass man das Verzögerungskabel auch am Spannungsteilerende mit dem Wellenwiderstand abschliesst (s. Fig. 14).

Man kann leicht nachweisen, dass auch bei erheblichen Abweichungen von $R_1 = R_2$ und Z noch keine Messfehler entstehen, was im folgenden gezeigt wird.

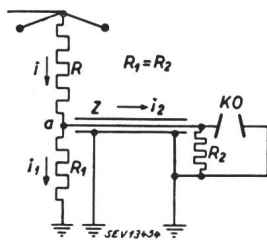


Fig. 14.
Verzögerungskabel
mit Widerstandsabschluss
an beiden Enden

Der Strom i im hochohmigen Teil des Spannungsteilers habe eine rechteckige Form. Dann erhält das Kabel vom Punkt a aus die Stromwelle

$$i_2 = i \frac{R_1}{R_1 + Z}$$

Am Abschlusswiderstand R_2 wird dieser Stromstoss reflektiert. Der Strom in diesem Widerstand berechnet sich zu

$$i \frac{R_1}{R_1 + Z} \left[1 + \frac{Z - R_2}{Z + R_2} \right] = i \frac{2 R_1 Z}{(R_1 + Z)^2}$$

Schreibt man $Z = R_1 + \delta$, so ändert sich der Ausdruck in

$$i \frac{2 R_1^2 + 2 R_1 \delta}{4 R_1^2 + 4 R_1 \delta + \delta^2} \approx \frac{i}{2}$$

nimmt also gerade den richtigen Wert an, der bei $R_1 = R_2 = Z$ auftreten würde. Für $\delta = 0,1 R_1$, also einer Abweichung von 10 % zwischen den Werten von Wellenwiderstand und Abschlusswiderstand, ist der auftretende Messfehler bloss 0,25 %. Weiter ist einzusehen, dass die vom Abschlusswiderstand R_2 in Richtung R_1 zurücklaufende reflektierte Welle die Stromwelle im Kabel gerade auf den gewünschten Wert $\frac{i}{2}$ bringt, so dass am Punkt a keine weiteren Reflexionen mehr auftreten.

Die Schaltung nach Fig. 14 zeigt also den grossen Vorteil, dass die Abgleichung des Abschlusswiderstandes nicht kritisch ist und dass deswegen frequenzabhängige Aenderungen des Kabelwellenwiderstandes automatisch korrigiert werden.

Als Beispiel seien hier noch einige Messergebnisse bezüglich der Bestimmung der Ueberschlagspannung einer Kugelfunkstrecke mitgeteilt. An verschiedenen Tagen wurde die Ueberschlagspannung einer Funkenstrecke mit 15-cm-Kugeln bei 4,5 cm Schlagweite mit dem KO bestimmt, wobei das 35 m lange Verzögerungskabel sowohl an beiden Enden wie nur am KO-Ende mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen war. Die verschiedenen bereits besprochenen Massnahmen zur Erreichung einer hohen Genauigkeit wurden auch hier angewendet. Die Eichung des KO erfolgte direkt an den Messplatten mit einem Gleichspannungswert entsprechend der Stossamplitude an den Ablenkplatten. Die Spannung an der Funkenstrecke wurde aus dem Spannungsteilerverhältnis durch Ausmessen

der Oszillogramme bestimmt. Das Ergebnis ist in Tabelle II enthalten.

Tabelle II

Messung Nr.	Ueberschlagspannung bei 1 50 Vollstoss in kV		
	Nach CEI und SEV	Eigene Messung	
		Verzögerungskabel an beiden Enden abgeschlossen	Verzögerungskabel nur am KO-Ende abgeschlossen
1	122,6	122,3	124,4
2	122,0	123,7	125,4
3	126,7	126,8	127,8
4	125,9	127,0	128,4

Während die Messwerte mit doppelt abgeschlossenem Kabel gut mit den CEI(SEV)-Werten übereinstimmen, treten bei Abschluss nur am KO-Ende bereits bei der kurzen Kabellänge von 35 m positive Fehler von im Mittel 1,25 % auf.

Man kann die in diesem Abschnitt wiedergegebenen Messergebnisse nicht ohne weiteres für andere Kabelkonstruktionen gelten lassen. Wohl kann man aber sagen, dass für die meisten Konstruktionen mit guter Isolation infolge des ohmschen Leiterwiderstandes ein kapazitiver Charakter und eine gewisse Frequenzabhängigkeit des Wellenwiderstandes zu erwarten ist. Der beiderseitige Abschluss des Kabels mit einem Widerstand ist also auf alle Fälle zu empfehlen. Dieser Widerstand kann aber ohne Bedenken rein ohmisch sein. Zwecks Kleinhaltung der Fehler durch Dämpfung soll das Verzögerungskabel möglichst kurz sein und einen geringen Leiter- (und Mantel-)widerstand aufweisen. Im Idealfall müsste hier Litze mit einzeln isolierten und verdrehten Drähten verwendet werden. Die Anwendung von Luftisolation ist belangloser, da, wie wir gesehen haben, der Leiterwiderstand den überwiegenden Einfluss auf das Verhalten des Kabels ausübt.

III. Die Aufstellung von Prüfobjekt und Spannungsteiler

Jeder, der sich mit Stossspannungsarbeiten befasst, ist sich dessen bewusst, dass für genaue Messungen Prüfobjekt und Spannungsteiler möglichst aneinander gerückt werden sollen. Bei Versuchen mit hoher Spannung lässt sich mit Rücksicht auf die räumliche Ausdehnung der Objekte und des Spannungsteilers ein gewisser Mindestabstand nicht unterschreiten, und der Kreis, gebildet von Objekt, Spannungsteiler und ihren Verbindungsleitungen, wird meistens eine Fläche von mehreren Quadratmetern haben. Dieser Kreis wird somit mit Rücksicht auf den kapazitiven Charakter des Objektes und des Spannungsteilers im allgemeinen schwingungsfähig sein.

Wir betrachten das Ersatzschaltbild Fig. 15 und setzen voraus, dass am Prüfling eine reine Stoss-welle der Form 1|50 auftritt. Diese Welle entspricht der Gleichung

$$u_t = \hat{u} (\varepsilon^{-\alpha t} - \varepsilon^{-\beta t})$$

¹⁾ Die Unterschiede der Werte in dieser Spalte sind durch die Temperatur- und Druckkorrekturen bedingt.

mit $\alpha = \frac{1}{70} \cdot 10^6$ und $\beta = 2 \cdot 10^6$.

Man kann ableiten, dass die Spannung an den Klemmen des Spannungsteilerwiderstandes R

$$i_3 R = \hat{u} \left\{ \varepsilon^{-\alpha t} - \varepsilon^{-\beta t} - \frac{\alpha - \beta}{\omega} \varepsilon^{-\frac{t}{2RC}} \sin \omega t \right\}$$

wo $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}$ ist.

Für den praktischen Fall mit

$R = 25\,000 \, \Omega$; $C = 100 \, \text{pF}$; $L = 30 \, \mu\text{H}$ wird

$$i_3 R = \hat{u} \left\{ \varepsilon^{-\alpha t} - \varepsilon^{-\beta t} - 0,11 \varepsilon^{-\frac{10^6 t}{5}} \sin \omega t \right\}$$

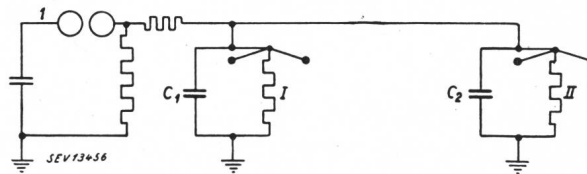


Fig. 16.

Schaltbild zum experimentellen Nachweis des Entstehens der Schwingungen

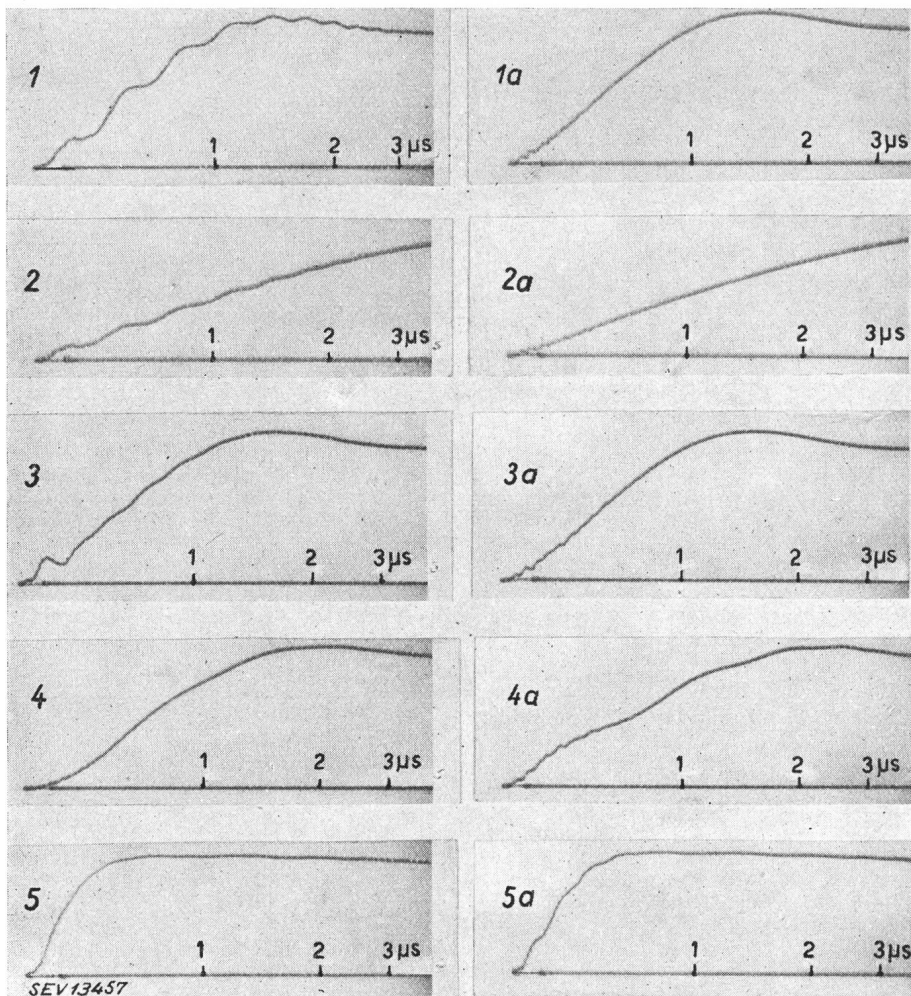


Fig. 17.

Messergebnisse der Einschwingvorgänge (Versuchsordnung nach Fig. 16)

Oszillogramm Nr.	Gemessen am Spannungsteiler Nr.	C_1 pF	C_2 pF	Von I, II und Erde umschlossene Fläche in m^2
1	II	2000	200	18
1a	I	2000	200	18
2	II	2000	200	18
2a	I	2000	200	18
3	II	2000	100	5
3a	I	2000	100	5
4	II	1000	2000	5
4a	I	1000	2000	5
5	II	100	200	18
5a	I	100	200	18

Das Oszillogramm zeigt also den Stoss mit einem überlagerten gedämpften Einschwingvorgang. Nach $2,5 \, \mu\text{s}$, also ungefähr auf dem Scheitel des Stosses, ist die Amplitude der Schwingung noch etwa 6,7% des Wellenscheitelwertes!

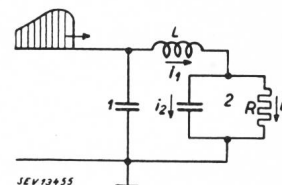


Fig. 15.

Ersatzschaltbild zur Berechnung der auftretenden Schwingungen

1 Prüfling 2 Spannungsteiler

Dass diese Einschwingvorgänge tatsächlich auftreten, wurde experimentell in der Schaltung nach Fig. 16 nachgewiesen. I und II sind einander gleiche Spannungsteiler, an denen die Kondensatoren C_1 bzw. C_2 parallelgeschaltet werden können. C_1 gilt hierbei als Objekt, C_2 als Parallelkapazität des Spannungsteilers II, um den Fall nachzuahmen, dass dieser Spannungsteiler eine reichliche kapazitive Steuerung besitzt. Es kann jetzt ohne irgendwelche Aenderung der Aufstellung durch Umstecken des Verzögerungskabels die Spannung am Spannungsteiler I (direkt an den Klemmen des Objekts) oder am Spannungsteiler II (in einigen Metern Entfernung des Objekts) registriert werden. Einige Aufnahmen sind unter Angabe der Kreiskonstanten in Fig.

17 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass der gedämpfte Schwingungsvorgang immer an der kleinen Kapazität auftritt. Dies ist auch erklärlich, da der schwingungsfähige Kreis C_1 — Zuleitung — C_2 durch den Stossvorgang angestossen wird und die Kondensatorspannung sich umgekehrt proportional den Kapazitätswerten verteilt.

Für den praktischen Fall können wir hieraus folgende Lehre ziehen: Man rücke den Spannungsteiler immer möglichst nahe an das Objekt heran. Bei hoher Spannung werden aber die Entfernungen auch dann noch so gross sein, dass beträchtliche Messfehler durch die Einschwingvorgänge entstehen.

Besonders unangenehm macht sich hier die verhältnismässig grosse Steuerkapazität der neuzeitlichen Spannungsteiler bemerkbar. Da die Objektkapazität im allgemeinen klein gegenüber der Spannungsteilerkapazität sein wird, tritt der Einschwingvorgang am Objekt auf und wird vom KO nicht registriert. Bedeutend günstiger in dieser Beziehung ist der im Abschnitt I entwickelte Spannungsteiler, der wegen seiner kleinen Eigenkapazität (50...100 pF) an der Einschwingspannung mitbeteiligt ist. Zwar registriert der KO auch bei diesem Spannungsteiler nicht richtig, weil die Schwingun-

gen am Objekt und am Spannungsteiler in Gegenphase sind, aber andererseits hat man die Gewissheit, dass bei glatter Charakteristik im Oszillogramm auch die Spannung am Prüfling schwingungsfrei wird.

Nebenbei sei bemerkt, dass bei Spannungsmessungen mit der Kugelfunkenstrecke dieselben Erscheinungen auftreten können und dass auch bei solchen Messungen auf minimale Entfernungen zwischen Objekt und Messkugeln geachtet werden muss.

Literaturverzeichnis

1. J. H. Hagenguth: Electrical Engineering Bd. 56(1937), S. 67.
2. Davis and Bowdler: J. Inst. Electr. Engrs. Bd. 82(1938), S. 646.
3. W. Raske: Arch. Techn. Mess. Z 116, 1.
4. R. Elsner: Arch. f. Elektrotechn. Bd. 33(1939), S. 23.
5. O. Zinke: ETZ 1939, S. 927.
6. Elektrizität, Techn. Zeitbild aus der Schweiz. Landesausstellung 1939, S. 178.
7. A. M. Angelini: Bull. SEV 1941, S. 305.

Adresse der Autoren:

R. F. Goossens, Ingenieur,
P. G. Provoost, Ingenieur,
Naamlooze Vermootschap tot Keuring van Electrotechnische Materialen.
Utrechtsche weg 210, Arnhem (Holland).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Elektrische und thermo-elektrische Traktion

Die Doppelnummer 10/11 der Brown Boveri Mitteilungen 1945 ist der modernen Traktion gewidmet.

Als neue Konstruktion von Brown Boveri wird die Lokomotive 251 der Berner Alpenbahn, Bern-Lötschberg-Simplon, beschrieben, die als elektrische Schnellzuglokomotive grosser Leistung trotz 80 t Adhäsionsgewicht und Fahrgeschwindigkeiten bis 125 km/h keine Laufachsen enthält. Bei dieser Lokomotive und modernen Triebfahrzeugen anderer Privatbahnen sowie der SBB wurde die neue Transformatorbauart mit Radialblechung angewendet¹⁾.

Ueber künftige, in erster Linie vom Gesichtspunkt des Konstrukteurs aufgebaute Triebfahrzeuge, für Wechselstrom oder Gleichstrom, für Neben- und Ueberlandbahnen, wird folgendes gesagt. Sie werden in den weitaus meisten Fällen Drehgestellfahrzeuge mit mässigem Achsdruck und für hohe Geschwindigkeit sein. Alle Achsen sind Triebachsen. Die Leistung pro Achse während einer Stunde erreicht für einen Meter Spurweite etwa 300...400 kW, für Normalspur etwa 700...900 kW. Das Drehgestell ist die Seele des Triebfahrzeuges. Es vermittelt die guten Laufeigenschaften und die Bequemlichkeit des Reisens. Durchbildung und Bau von Motor, Antrieb und Drehgestell sollen in der gleichen Hand liegen. Wer das beste Drehgestell baut, wird das Rennen um das beste Fahrzeug der Zukunft gewinnen. Auf der elektri-

¹⁾ Bull. SEV 1944, Nr. 22, S. 632.

schon Seite wird das Triebfahrzeug der Zukunft für schweizerische Nebenbahnen mehr als früher nur noch einen leichten Pantographen-Stromabnehmer mit Doppelwippe erhalten, der zur Schonung des Fahrdrabtes und wegen Radioentstörung bei funkenfreier Stromabnahme mit Kohlschleifstücken versehen sein wird. Der Hauptschalter wird ein Schnell-schalter sein, der Kurzschlüsse und Ueberlastungen in möglichst kurzer Zeit abschaltet.

In Großstädten, wo keine Untergrundbahn gebaut werden kann, wird der Strassenbahnbetrieb erhalten bleiben. Die Zukunft der Strassenbahnbetriebe liegt in der Verwendung von alleinfahrenden modernen Triebwagen mit grosser Platzzahl. Der Trolleybus, das elektrische Strassenfahrzeug, das sich dank seiner freien Beweglichkeit unter dem Fahrdrabt in den andern Strassenverkehr einordnet, hat in den letzten 15 Jahren in der Schweiz grosse Bedeutung erlangt. In einem besonderen Aufsatz werden die verschiedenen Motortypen für Trolleybusfahrzeuge miteinander verglichen, und es wird erklärt, dass der Seriomotor von niedriger Drehzahl und geeigneter Geschwindigkeitsregulierung grosse Vorteile bietet. Am Beispiel elektrischer Triebfahrzeuge für Zahnradbahnen wird gezeigt, dass manches Bahnunternehmen eine Erneuerung und Erweiterung seines Wagenparkes vornimmt, um für den künftigen Fremden- und Sportverkehr gerüstet zu sein.

Weitere Aufsätze sind den Betriebserfahrungen und den Entwicklungsmöglichkeiten der Gasturbinenlokomotive sowie der diesel-elektrischen Schienenfahrzeuge gewidmet. Gz.

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Les récentes réunions du Comité Consultatif International Téléphonique (CCIF)

(Journal des télécommunications 1945, No. 12)

Constatant la nécessité de rétablir le réseau téléphonique international européen gravement endommagé par les opérations de guerre, les Administrations sont convenus de réunir à Londres, du 22 au 30 octobre 1945, le Comité international

téléphonique (CCIF) afin d'envisager les mesures propres à permettre la reprise du trafic téléphonique international. La réunion plénière du Comité fut précédée d'une réunion de la 6^e commission de rapporteurs chargée des questions d'exploitation; la sous-commission des méthodes rapides d'exploitation tint également des séances préliminaires ainsi qu'un comité d'ingénieurs chargé de compléter la liste des questions techniques mises à l'étude avant la guerre et d'établir un ordre d'urgence pour la reprise de ces problèmes.