

# Dämpfungsbestimmung von Hochfrequenzkabeln durch Messung der Spannungsüberhöhung im Resonanzzustand

Autor(en): **Gerber, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **16 (1938)**

Heft 3

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873357>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bahnen auf den Ersatz der Stromabnehmerrollen durch *Löffel aus Chrom-Nickel-Stahl* nach dem System „Ohio Brass“, die nur unbedeutende Änderungen an der Fahrleitung und mässige Kosten bedingen. Auch hier wird die Kohlenpolitur des Fahrdrahtes hergestellt, indem die Löffel am Fahrdrat plan aufliegen und indem der Fahrdrat von Zeit zu Zeit mit einer Graphitlösung bestrichen wird. Diese Massnahmen ergeben eine ziemlich befriedigende Störschutzwirkung.

Auch bei Stromabnehmern sogenannter Trolleybus-Wagen (d. h. geiseloser Elektro-Omnibusbetrieb), mit Speisung durch doppeldrätige Fahrleitung, lässt sich die Entstörung in befriedigender Weise durch Verwendung der vorerwähnten Stahl-Löffel „Ohio Brass“ durchführen.

In neuerer Zeit werden die Löffel-Stromabnehmer auch mit Kohlen-Einlagen ausgeführt, wodurch das Bestreichen des Fahrdrahtes mit Graphit-Lösung dahinfällt.

ci-dessus occasionnerait d'énormes dépenses, car il s'agirait non seulement de remplacer la prise de courant par un pantographe, mais aussi de reconstruire presque complètement le réseau des fils de contact. On se borne donc à remplacer le galet de contact par une prise de courant en forme de cuiller, constituée par de l'acier au chrome-nickel, système „Ohio Brass“, qui n'exige que d'insignifiantes modifications de la ligne de contact. Ici également, on procède d'abord au polissage du fil, en l'enduisant de temps à autre d'un mélange de graphite sur lequel la cuiller glisse à plat. L'effet anti-perturbateur obtenu de la sorte est satisfaisant.

Les cuillers „Ohio Brass“ servent aussi à déparasiter de façon satisfaisante les prises de courant des „trolleybus“ (omnibus électriques sans rails), alimentés au moyen de deux fils de contact.

Depuis quelque temps, les prises de courant en forme de cuiller sont munies de garnitures en charbon, ce qui rend superflu le traitement du fil au moyen de graphite.

## Dämpfungsbestimmung von Hochfrequenzkabeln durch Messung der Spannungsüberhöhung im Resonanzzustand.

W. Gerber, Bern.

DK 621.315.21.029.58. 621.315.352

Nach einem kurzen Hinweis auf bekannte Laboratoriumsmethoden zur Dämpfungsbestimmung von Versuchslängen wird ein neues Messprinzip angegeben. Als empfindliches Mass der Dämpfung setzt es im Resonanzzustand des Kabels die Spannungsamplitude der fortschreitenden Welle im Spannungsknoten am Kabelanfang in Beziehung zur Spannungsamplitude im Spannungsbauch am Kabelende. Der Messvorgang wird damit identisch mit der bekannten Bestimmung von Verlustzahlen von Schwingkreisen aus der Spannungsüberhöhung. Der Dämpfungsbetrag kann bis zum Bereich der Meterwellen direkt an einer Skala abgelesen werden.

Hochfrequenzkabel werden in der Radiotechnik in Verbindung mit Sende- und Empfangsantennen und in der Breitbandtechnik zur leitungsgerechten Uebertragung modulierter Signale verwendet. Für die Konstruktion und Anwendung solcher Kabel ist die Dämpfung in vielen Fällen die wichtigste Kenngrösse.

Ihre laboratoriumsmässige Bestimmung an Versuchslängen kann z. B. in klassischer Weise aus den Leerlauf- und Kurzschlussimpedanzen,  $\Re_L$  und  $\Re_K$ , erfolgen:

$$\Im g 2b = \frac{2 M \cos \varphi}{1 + M^2} \quad \text{wobei:}$$

$b$  = Dämpfungsmass in Neper, und  $M e^{j\varphi} = \sqrt{\frac{\Re_K}{\Re_L}}$

Misst man  $\Re_L$  und  $\Re_K$  im Resonanzzustand, d. h. bei Eigenfrequenzen des Hochfrequenzkabels, so vereinfacht sich die Auswertung infolge der vernachlässigbaren Blindkomponenten der Resonanzwiderstände; es wird:

$$\Im g b = \begin{cases} \sqrt{\frac{\Re_L}{\Re_K}} & \text{für } n = 1, 3, 5, 7 \dots \\ \sqrt{\frac{\Re_K}{\Re_L}} & \text{für } n = 2, 4, 6, 8 \dots \end{cases}$$

wobei:  $n$  = Anzahl Viertelwellen auf dem Messkabel.

Diese Messweise ist in Veröffentlichungen von *Kieser*<sup>1)</sup> und *Kaden*<sup>2)</sup> ausführlich beschrieben.

Ein anderes Messverfahren, von *Baumann* und *Roosenstein*<sup>3)</sup> angegeben, benützt das in der Hochfrequenztechnik übliche Verstimmsprinzip zur Dämpfungsbestimmung von Hochfrequenzkabeln.

Im folgenden beschreibt der Verfasser ein neues Resonanz-Messverfahren. Es gestattet, den Dämpfungsbetrag direkt an einer Skala abzulesen, ohne irgendwelche Umrechnungen; das mühsame Aufsuchen der Resonanzstellen durch Impedanzmessungen ist vermieden; dabei ermöglichen die relativ einfachen Messmittel Dämpfungsbestimmungen bis zum Bereich der Meterwellen. Das Verfahren setzt voraus, dass Anfang und Ende des Kabels zugänglich sind, was bei laboratoriumsmässigen Versuchslängen immer zutrifft.

### Dämpfungsbeziehungen zwischen Anfangs- und Endamplituden im Resonanzzustand des Kabels, als Grundlage des Messverfahrens.

Angewendete Bezeichnungen:

$U_A$	$\Im_A$	Spannung und Stromstärke am Anfang
$U_E$	$\Im_E$	Spannung und Stromstärke am Ende
	$\Im$	Wellenwiderstand
	$g$	Uebertragungsmass
	$a$	Winkelmass
	$b$	Dämpfungsmass
	$n$	Anzahl Viertelwellen auf dem Kabel,

<sup>1)</sup> W. Kieser. Hochfrequenzkabel, Felten & Guilleaume-Rdsch. (1936), H. 17/18, S. 41.

<sup>2)</sup> H. Kaden. Ueber ein Verfahren zur Messung von Breitbandkabeln, TFT 1936, S. 322.

<sup>3)</sup> K. Baumann und H. O. Roosenstein. Ueber neue Dämpfungsmessungen an Hochfrequenz-Energieleitungen, Z. f. Hochfrequenztechnik 38 (1931), S. 73.

$a = n \frac{\pi}{2}$ ; im Resonanzzustand des Kabels ist  $n$  ganzzahlig.

Zwischen den Strom- und Spannungswerten am Anfang und Ende gilt für die Senderichtung  $A \rightarrow E$  das bekannte Gleichungspaar:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= \mathfrak{A} U_E + \mathfrak{B} \mathfrak{I}_E \\ \mathfrak{I}_A &= \mathfrak{A} \mathfrak{I}_E + \mathfrak{C} U_E \end{aligned} \right\} (1)$$

Darin bedeuten:

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{C} \cos g \quad \mathfrak{B} = \mathfrak{I} \sin g \quad \mathfrak{C} = \frac{\sin g}{\mathfrak{I}}$$

Im Resonanzzustand des Kabels nehmen die Koeffizienten  $\mathfrak{A} \mathfrak{B} \mathfrak{C}$  folgende Werte an:

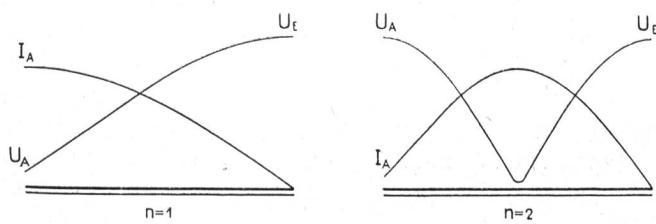
$$\left. \begin{array}{ll} n = 1, 3, 5 \dots & n = 2, 4, 6 \dots \\ \mathfrak{A} & j^n \sin b \\ \mathfrak{B} & j^n \mathfrak{I} \cos b \\ \mathfrak{C} & j^n \frac{\cos b}{\mathfrak{I}} \end{array} \right\} (2)$$

Ersetzt man die Koeffizienten der Gleichungen (1) durch obige Werte, so erhält man für Leerlauf- und Kurzschlussresonanz die folgenden zwei Gruppen von Beziehungen, in skalarer Form geschrieben:

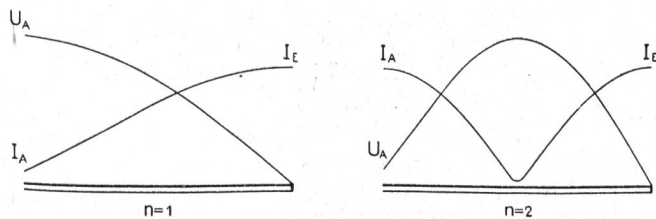
$$I_E = 0 \left\{ \begin{aligned} \frac{U_A}{U_E} &= \begin{cases} \sin b & \text{für } n = 1, 3, 5 \dots \end{cases} \quad (3a) \\ \frac{U_A}{U_E} &= \begin{cases} \cos b & \text{für } n = 2, 4, 6 \dots \end{cases} \quad (3b) \\ \frac{I_A Z}{U_E} &= \begin{cases} \cos b & \text{für } n = 1, 3, 5 \dots \end{cases} \quad (4a) \\ \frac{I_A Z}{U_E} &= \begin{cases} \sin b & \text{für } n = 2, 4, 6 \dots \end{cases} \quad (4b) \end{aligned} \right.$$

$$U_E = 0 \left\{ \begin{aligned} \frac{I_A}{I_E} &= \begin{cases} \sin b & \text{für } n = 1, 3, 5 \dots \end{cases} \quad (5a) \\ \frac{I_A}{I_E} &= \begin{cases} \cos b & \text{für } n = 2, 4, 6 \dots \end{cases} \quad (5b) \\ \frac{U_A}{I_E Z} &= \begin{cases} \cos b & \text{für } n = 1, 3, 5 \dots \end{cases} \quad (6a) \\ \frac{U_A}{I_E Z} &= \begin{cases} \sin b & \text{für } n = 2, 4, 6 \dots \end{cases} \quad (6b) \end{aligned} \right.$$

Diesen Resonanzgleichungen entsprechen die vier in Abb. 1 dargestellten Schwingungsformen.



Leerlaufresonanz:  $I_E = 0$



Kurzschlussresonanz:  $U_E = 0$

Abb. 1. Strom- und Spannungsverteilung im Resonanzzustand. Senderichtung  $A \rightarrow E$ .

**Ausführung der Dämpfungsmessungen.**

Die Dämpfungsbeziehungen der Resonanzamplituden sind, wie die Gleichungen (3), (4), (5) und (6) zeigen, sehr einfacher Art. Sie enthalten entweder den Sinus hyperbolicus  $b$  oder den Cosinus hyperbolicus  $b$ .

Mit Rücksicht auf ihre Unempfindlichkeit im Gebiet kleiner Dämpfungen hat die Gleichungsgruppe mit dem Cosinus hyperbolicus für die laboratoriums-mässige Dämpfungsbestimmung an Versuchslängen keine praktische Bedeutung<sup>4)</sup>. Wie Abb. 2 zeigt, ist

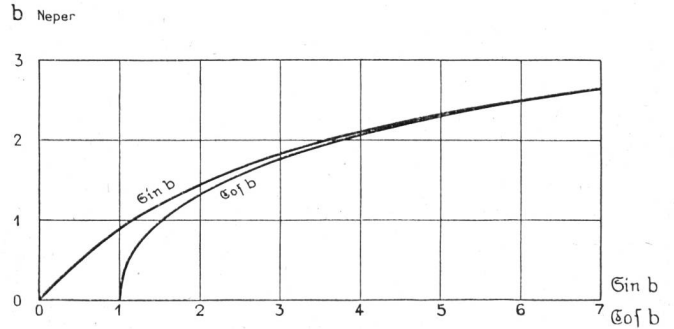


Abb. 2. Hyperbel-Funktionen.

dagegen die Gleichungsgruppe mit dem Sinus hyperbolicus auch im Gebiet kleinster Dämpfungen sehr empfindlich. Sieht man ferner von den Gleichungen mit dem unerwünschten Ausdruck  $Z$  ab, so verbleiben noch die beiden Gleichungen (3a) und (5a). Der messtechnischen Verwendung der Gleichung (5a) stehen mit den heutigen technischen Mitteln noch einige Schwierigkeiten entgegen. Dafür ist die Gleichung (3a),

$$\sin b = \frac{U_A}{U_E} \left| \begin{array}{l} I_E = 0 \\ n = 1, 3, 5 \dots \end{array} \right. \quad (3a)$$

in hervorragendem Masse zur Dämpfungsbestimmung geeignet. Der Messvorgang wird identisch mit der heutigen Verlustzahlbestimmung von Schwingkreisen aus der Spannungsüberhöhung<sup>5)</sup>; die konstruktiven Anforderungen an das entsprechende Kabelmessgerät sind allerdings mit Rücksicht auf die Messbereiche etwas höher.

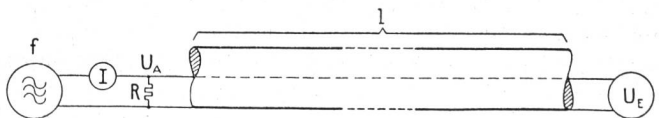


Abb. 3. Prinzipielle Messanordnung.

Ein Hochfrequenzoszillator erzeugt am Kabelanfang über einen relativ kleinen Kopplungswiderstand  $R$  einen Spannungsabfall:  $U_A = I \cdot R$ . Wird die Oszillatorfrequenz kontinuierlich verändert, so zeigt das dämpfungsfreie Röhrenvoltmeter am Kabelende in gleichmässigen Frequenzabständen, entsprechend:  $n = 1, 3, 5 \dots$ , die Resonanzamplituden  $U_E$  an. Am Röhrenvoltmeter  $U_E$  sind die Dämpfungseinheiten

<sup>4)</sup> M. J. O. Strutt hat die Cosinusgleichung (3b) für Dämpfungsmessungen an Übertragungsleitungen verwendet; Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 41 (1933), S. 98.

<sup>5)</sup> Vergl. O. Zinke. Ein Messgerät zur direkten Messung der Güte- und Verlustzahl von Schwingkreisen. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 47 (1936), S. 196.

direkt ablesbar, wenn der Generatorstrom I vor jeder Ablesung auf eine Marke einreguliert wird.

Im folgenden soll gezeigt werden, dass man an Stelle der Resonanzwerte  $U_{E n = 1, 3, 5 \dots}$  die Maximalwerte  $U_{E \max}$  ablesen darf, ohne dass an der einfachen Messgleichung (3a) Korrekturen zu berücksichtigen sind.

Nach den Gleichungen (1) wird allgemein für  $I_E = 0$ :

$$\left| \frac{U_A}{U_E} \right|^2 = \cos^2 a + \sin^2 b \sin^2 a \quad (7)$$

b und a sind Funktionen der Frequenz f:

$$b \propto K_1 \sqrt{f} \quad a = K_2 f \quad (8)$$

Für die Extremalwerte des Spannungsverhältnisses  $U_A/U_E$  gilt dann die Bedingung:

$$\frac{\partial}{\partial f} \left| \frac{U_A}{U_E} \right|^2 = \frac{b}{2} \sin 2b - a \sin 2a = 0 \quad (9)$$

Gleichung (9) zeigt in Verbindung mit der zweiten Ableitung nach f, dass die Maximalwerte  $U_{E \max}$  bei vernachlässigbarer Dämpfung bei  $n = 1, 3, 5 \dots$  auftreten. Sie zeigt ferner, dass mit zunehmender Dämpfung die Maximalwerte  $U_{E \max}$  gegen  $n = 1, 3, 5 \dots$  um den Winkelbetrag

$$\Delta a = - \frac{b \sin 2b}{2 n \pi} \quad (10)$$

verschoben sind. Die Ablesungen erfolgen also nicht mehr genau bei  $n = 1, 3, 5 \dots$ , und es gilt dann, gemäss Gleichungen (7) und (10), für die Maximalwerte  $U_{E \max}$  die Dämpfungsbeziehung:

$$\frac{U_A}{U_{E \max}} = \sin b \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{b}{n \pi} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Diese Gleichung unterscheidet sich gegenüber der Messgleichung (3a) durch einen Korrekturfaktor, welcher aber im Bereich der praktisch vorkommenden Dämpfungen bedeutungslos ist. Bei einer Dämpfung von 0,2 Neper pro Viertelwelle auf dem Messkabel würde die Korrektur beispielsweise nur ca. 2 ‰ betragen.

#### Konstruktive Daten des Messgerätes.

Der Frequenzbereich des Generators umfasst etwa 50 kHz bis 50 MHz; die niedrige Anfangsfrequenz ist gegeben mit Rücksicht auf eine möglichst universelle Verwendung des Dämpfungsmessers. Der Generatorstrom I wird zweckmässig auf ca. 1 Amp. bemessen.

Die Grösse des Widerstandes R ist bestimmt durch die allgemeine Forderung nach loser Kopplung. Mit Rücksicht auf den Stromverteilungsfehler im Speisepunkt gilt die Bedingung:

$$R \ll \text{Resonanzwiderstand} = 3 \Im g b$$

Lässt man höchstens 1% Stromverteilungsfehler zu, so wird:

$$R \leq \frac{3 \Im g b}{100}$$

Bei einem mittleren Wellenwiderstand von 100 Ohm und den praktisch vorkommenden Dämpfungen gilt dann die einfache Bedingung:

$$R \leq b \quad \Omega$$

Der Kopplungswiderstand soll ferner phasenrein und frequenzunabhängig sein; induktive Nebenkopplungen zwischen Generator und Messkabel dürfen nicht bestehen. Mit Rücksicht auf die verschiedenen Dämpfungsmessbereiche wird der Kopplungswiderstand zweckmässig in Stufen unterteilt oder umschaltbar gemacht. Mit einem kleinsten Kopplungswiderstand von 0,01 Ohm können noch Dämpfungen von 0,01 Neper einwandfrei gemessen werden. Derart kleine Widerstände bestehen gewöhnlich aus Bifilarbändern sehr dünner Metallfolien.

$U_E$  wird zweckmässig mit einem aperiodischen, direkt in Dämpfungseinheiten geeichten Rohrvoltmeter gemessen. Mit Rücksicht auf die notwendige Verlustfreiheit und Frequenzunabhängigkeit im gesamten Messbereich kommt nur „Anodengleichrichtung“, mit H.F.-Kurzschluss im Anodenkreis, in Frage.

Mit einem Generatorstrom:  $I = 1$  Amp. und einem Kopplungswiderstand:  $R = b$  Ohm erhält man Resonanzspannungen in der Grösse von einem Volt.

$$U_E = \frac{U_A}{\sin b} = \frac{I R}{\sin b} \sim 1 \text{ Volt}$$

Nach Barkhausen<sup>6)</sup> beträgt die kleinste, mit leistungsloser Anodengleichrichtung noch gut messbare Wechselspannung ein Siebentel dieses Wertes.

Der Verfasser hat nach dem hier beschriebenen Verfahren praktische Dämpfungsmessungen mit bestem Erfolg durchgeführt.

Bern, im März 1938.

<sup>6)</sup> H. Barkhausen. Lehrbuch der Elektronen-Röhren, 4. Bd. (1937), S. 102.

## Geräuschdämpfung in Betriebsräumen\*)

W. Furrer, Bern.

DK 534.835 534.833.

Die heutige Bauweise bringt es mit sich, dass bei Dienst- und Betriebsgebäuden auch für die innere Ausstattung der Räume in weitgehendem Masse harte Materialien Verwendung finden. Betondecken, Linoleumbodenbeläge, Glaswände, grosse Fensterflächen, Stahlmöbel charakterisieren einen modernen

## Amortissement du bruit dans les locaux de service.

W. Furrer, Berne.

C. D. 534.835 534.833.

L'art moderne de construire impose de plus en plus, dans les bâtiments de service, l'emploi de matériaux durs, même pour l'équipement interne des locaux. Des plafonds en béton, des planchers recouverts de linoléum, des parois de verre, de grandes fenêtres, des meubles en acier caractérisent un local