

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 40 (1962)

Heft: 10

Artikel: Kenntnis der Dämpfung = Qu'est-ce que l'affaiblissement?

Autor: Nüsseler, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875139>

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: 15.03.2025

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von den Schweizerischen Post-, Telephon- und Telegraphen-Betrieben - Publié par l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses. - Pubblicato dall'Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

F. Nüsseler, Bern

621.3.018.8

Kenntnis der Dämpfung

Qu'est-ce que l'affaiblissement?

Zusammenfassung. In diesem Aufsatz wird der Versuch unternommen, das Wissen um die Dämpfung einem breiten Kreis von Telefonfachleuten einfach zu erläutern. Es werden die Zusammenhänge mit den Leitungskonstanten gezeigt und darauf hingewiesen, dass unter die Dämpfung nicht nur die Leitungsverluste fallen, sondern diese bei ungünstiger Anpassung oder Fehlschaltungen auch die daraus entstehenden Verluste einschliesst.

Résumé. Le présent article essaie d'expliquer la notion d'affaiblissement à un large cercle de spécialistes du téléphone. Il en démontre les rapports avec les constantes linéiques et précise que le vocable «affaiblissement» ne désigne pas seulement les pertes d'un circuit, mais englobe également celles dues à une mauvaise adaptation ou à des connexions défectueuses.

1. Definition der Dämpfung

1. Définition de l'affaiblissement

Aufgabe der Übertragungstechnik ist die Übermittlung von Informationen auf Entfernung. Als Träger dieser Informationen dient elektrische Energie. Nun ist jede Übertragung von Energie mit Verlusten behaftet, das heisst die empfangene Energie wird immer geringer sein als die ursprünglich aufgegebenen. Diese Erscheinung bezeichnet man in der Übertragungstechnik als Dämpfung. Man könnte sie auch mit Schwächung, Abnahme, Entkräftung oder Verminderung umschreiben. Die Dämpfung ist einer der wichtigsten Begriffe der Übertragungstechnik, da das Mass der Verluste schliesslich über die Brauchbarkeit einer Verbindung entscheidet.

C'est la tâche de la technique de la transmission que de transmettre à distance des informations. Le support utilisé à cet effet est l'énergie électrique. Or, chaque transmission d'énergie implique des pertes, c'est-à-dire que l'énergie transmise sera toujours plus faible à la réception qu'à l'émission. On appelle ce phénomène «affaiblissement». On pourrait également le désigner par atténuation, diminution ou encore amortissement. L'affaiblissement est une des notions les plus importantes de la technique de la transmission, car, en fin de compte, c'est l'ampleur des pertes qui caractérise le degré d'utilité d'une liaison.

Die Dämpfung (A) eines Übertragungssystems, in unserem Falle eines Vierpols, ist durch folgende Beziehungen festgelegt (Fig. 1):

L'affaiblissement (A) d'un système de transmission, dans le cas considéré un quadripôle, est fixé par les relations suivantes (fig. 1):

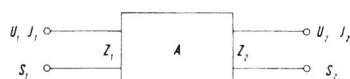


Fig. 1

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{S_1}{S_2} \quad (1)$$

S = puissance apparente
 U = tension
 J = intensité

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{S_1}{S_2} \quad (1)$$

S = Scheinleistung
 U = Spannung
 J = Strom

On compare entre elles les puissances, tout en tenant compte d'éventuelles transformations à l'intérieur du quadripôle. La détermination du logarithme issue du rapport de puissance n'est pas due à l'approximation: la gradation de l'affaiblissement correspond en effet

Es werden die Leistungen miteinander verglichen, wobei allfällige Transformationen innerhalb des Vierpols berücksichtigt sind. Dass aus dem Leistungsverhältnis der Logarithmus bestimmt wird, kommt nicht von ungefähr: Die Dämpfungsabstufung entspricht dann dem natürlichen Empfinden und gestattet zudem, Dämpfungswerte von verschiedenen Abschnitten direkt zu addieren.

Die auf einer Leitung übertragene elektrische Scheinleistung ist durch die Spannung und den Strom gegeben. Mit diesen Komponenten wird die Dämpfung

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1 \cdot J_1}{U_2 \cdot J_2}$$

Von den vier variablen Grössen können zwei eliminiert werden, sofern die Impedanzen am Ein- und Ausgang des Systems bekannt sind:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \ln \frac{U_1^2}{U_2^2} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \\ &= \ln \frac{U_1}{U_2} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_1}{Z_2} \end{aligned} \quad (2)$$

Die Dämpfung ist somit durch das Spannungsverhältnis gegeben. Eine Korrektur ist anzubringen, wenn die Impedanzen voneinander abweichen. Bei homogener Leitung gilt umgekehrt für die Spannung

$$U_2 = U_1 \cdot e^{-A}$$

und für den Strom

$$J_2 = J_1 \cdot e^{-A} \quad (3)$$

Die zu übertragende Energie nimmt also nach einer Exponentialfunktion ab.

2. Die Ursachen der Dämpfung

Bei Betrachtung der Elemente einer Zweidrahtleitung kann daraus geschlossen werden, dass deren Dämpfung durch den Widerstand (R), die Induktivität (L), die Ableitung (G) und die Kapazität (C) gegeben ist (Fig. 2). Die Telegraphengleichung lehrt, dass für eine reflexionsfrei abgeschlossene Leitung folgende Beziehung gilt:

$$\frac{U_1}{U_2} = e^{\gamma \cdot l} \quad (4)$$

wobei

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (5)$$

(Werte je km)

Der Ausdruck $\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$ ist die Übertragungskonstante γ , die sich aus α und $j\beta$ zusammensetzt. Dem reellen Anteil α entspricht der Dämpfungsbelag und β der Phasenbelag je km. Mit $j \cdot \beta \cdot l$ kommt zum Ausdruck, dass die Spannungen nicht nur betragsmässig verschieden sind, sondern ihre Vektoren einen Winkel $\beta \cdot l$ einschliessen.

Durch Weiterentwicklung von $\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$ erhält man den Dämpfungsbelag

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} (R \cdot G - \omega^2 LC) + \frac{1}{2} \sqrt{(R^2 + \omega^2 LC)(G^2 + \omega^2 C^2)}} \quad (6)$$

à une sensibilité naturelle et permet, au surplus, d'additionner directement des valeurs d'affaiblissement de différentes sections.

La puissance électrique apparente transmise sur un circuit est déterminée par la tension et l'intensité. Ces composants donnent l'affaiblissement suivant:

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1 \cdot J_1}{U_2 \cdot J_2}$$

Deux des quatre grandeurs variables peuvent être éliminées dans la mesure où les impédances sont connues à l'entrée et à la sortie du système:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \ln \frac{U_1^2}{U_2^2} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \\ &= \ln \frac{U_1}{U_2} - \frac{1}{2} \ln \frac{Z_1}{Z_2} \end{aligned} \quad (2)$$

L'affaiblissement est ainsi déterminé par le rapport de tension. Il convient d'apporter une correction quand les impédances diffèrent. Pour un circuit homogène, la formule valable est pour la tension

$$U_2 = U_1 \cdot e^{-A}$$

et pour l'intensité

$$J_2 = J_1 \cdot e^{-A} \quad (3)$$

L'énergie transmise décroît donc selon une fonction exponentielle.

2. Les causes de l'affaiblissement

Si l'on considère les éléments d'un circuit à deux fils, on peut en déduire que l'affaiblissement de ce circuit est déterminé par la résistance (R), l'inductivité (L), la conductance (G) et la capacité (C) (fig. 2). L'équation des télégraphistes enseigne que

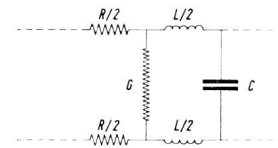


Fig. 2

la relation suivante est valable pour un circuit terminé sans réflexion:

$$\frac{U_1}{U_2} = e^{\gamma \cdot l} \quad (4)$$

où

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (5)$$

(valeurs par km)

La formule $\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$ est la constante de propagation γ , composée de α et $j\beta$. La partie réelle α est la constante d'affaiblissement et β la constante de déphasage par km. Il ressort de $j\beta \cdot l$ que les tensions ne diffèrent pas seulement en grandeur, mais que leurs vecteurs forment un angle $\beta \cdot l$.

De la formule $\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$, on déduit la constante d'affaiblissement

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} (R \cdot G - \omega^2 LC) + \frac{1}{2} \sqrt{(R^2 + \omega^2 LC)(G^2 + \omega^2 C^2)}} \quad (6)$$

In diesem Ausdruck ist es nun nicht leicht, die Auswirkung der einzelnen Komponenten zu deuten. Je nach Art und Eigenschaften der Leitung sowie des zu übertragenden Frequenzbandes, lässt sich voranstehende ausführliche Dämpfungsformel vereinfachen.

Es gilt dann für unbelastete Kabel

$$\alpha = \sqrt{\frac{R \omega C}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2} - \frac{\omega L}{R} \right]} \quad (7)$$

Daraus geht hervor, in welchem Masse die Dämpfung eine Funktion des Widerstandes, der Kapazität der Leitung und der Frequenz ist. Die Induktivität wirkt im gegenläufigen Sinn, sie kompensiert einen Teil der dämpfenden Wirkung der Kapazität. Interessant ist die Dämpfungsformel für die Leitung mit erhöhter Induktivität, der Pupinleitung*:

$$\alpha \simeq \left[\frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \quad (8)$$

Die Grunddämpfung setzt sich nun aus zwei Anteilen zusammen, wobei der erste den Längs-, der zweite den Querverlusten entspricht. Der Einfluss der Frequenz kommt sichtbar im Wurzelausdruck

$1/\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$ zur Geltung, wobei f_0 der Grenzfrequenz entspricht. Aber auch die Ableitung ist keine konstante Grösse. Die dielektrischen Verluste sind nicht nur durch das Isoliermaterial, sondern auch durch die Frequenz der übertragenen Wechselspannung gegeben.

3. Dämpfungsarten

Der Ausdruck Dämpfung ist in der Übertragungstechnik ein allgemeiner Begriff geworden. Der Fachmann unterscheidet jedoch zwischen Wellendämpfung, Betriebsdämpfung und Restdämpfung. Die Wellendämpfung ist auf einer Leitung wirksam, wenn sowohl die Impedanz des Senders als auch jene des Empfängers dem Wellenwiderstand der Leitung entspricht. Diese Dämpfung tritt also nur im Idealfall auf. Ist die Leitung betriebsmässig mit beliebigen Impedanzen abgeschlossen, so spricht man von Betriebsdämpfung. Wird die Dämpfung der Leitung zwischen 600 Ohm gemessen, so erhält man die Restdämpfung. Den Unterschied zwischen Wellen- und Restdämpfung zeigen die *Figuren 3a* und *3b*.

Betriebs- und Restdämpfung unterscheiden sich von der Wellendämpfung dadurch, dass sie zusätzliche Verluste durch Fehlanpassung am Ein- und

Or, il n'est pas facile de déterminer dans cette expression l'influence des diverses composantes. Suivant le genre et les qualités du circuit et de la bande de fréquences à transmettre, cette formule exhaustive de l'affaiblissement peut être simplifiée.

Ainsi, pour les câbles non chargés:

$$\alpha = \sqrt{\frac{R \omega C}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2} - \frac{\omega L}{R} \right]} \quad (7)$$

On peut en déduire que l'affaiblissement est dans une large mesure fonction de la résistance, de la capacité du circuit et de la fréquence. L'inductivité agit en sens contraire; elle compense une partie de l'effet affaiblissant de la capacité. Il est intéressant d'examiner la formule d'affaiblissement relative au circuit à inductivité élevée: le circuit pupinisé*.

$$\alpha \simeq \left[\frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \quad (8)$$

L'affaiblissement fondamental est ici composé de deux parties, dont l'une correspond aux pertes longitudinales et l'autre aux pertes transversales. L'influence de la fréquence apparaît de manière visible

dans l'expression $1/\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$, où f_0 correspond à la

fréquence de coupure. Mais la conductance n'est également pas une grandeur constante. Les pertes diélectriques ne sont pas seulement déterminées par le matériel d'isolation mais également par la fréquence de la tension alternative transmise.

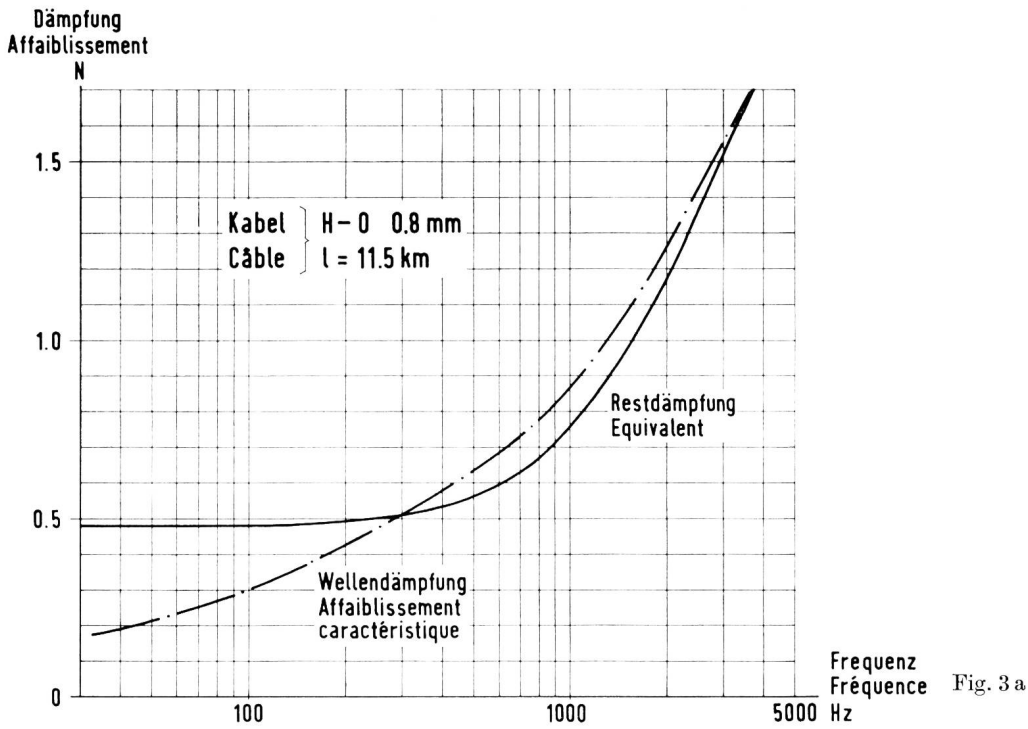
3. Genres d'affaiblissement

Le vocable «affaiblissement» est devenu un terme général de la technique de la transmission. Le spécialiste fait cependant une distinction entre l'affaiblissement caractéristique, l'affaiblissement composite et l'équivalent. L'affaiblissement caractéristique se manifeste sur un circuit lorsque l'impédance de l'émetteur et celle du récepteur correspondent toutes les deux à l'impédance caractéristique du circuit. Cet affaiblissement n'apparaît donc que dans un cas idéal. Dans l'exploitation, si un circuit est terminé par une impédance quelconque, on parle d'affaiblissement composite. L'affaiblissement de ce même circuit est-il mesuré à 600 ohms, on obtient alors l'équivalent. La différence entre l'affaiblissement caractéristique et l'équivalent est illustrée dans les *figures 3a* et *3b*.

L'affaiblissement composite et l'équivalent se distinguent de l'affaiblissement caractéristique par le fait qu'ils incluent des pertes supplémentaires dues à une mauvaise adaptation à l'entrée et à la sortie du

* Genaue Berechnungsgrundlagen für pupinisierte Leitungen wurden von *M.H. Plejél* aufgestellt: *Compt. rend. conf. int. des techn.* 1910, Bd. 4.

* Des bases de calcul exactes pour les circuits pupinisés ont été établies par *M.H. Plejél*: *compte rendu conf. int. des techn.* 1910, vol. 4.



Ausgang des Vierpols einschliessen. Allgemein kann die Betriebsdämpfung unter Berücksichtigung der Anpassung nach folgender Formel bestimmt werden:

$$A = \alpha \cdot l + \ln \left| \frac{Z_s + Z_1}{2\sqrt{Z_s \cdot Z_1}} \right| + \ln \left| \frac{Z_e + Z_2}{2\sqrt{Z_e \cdot Z_2}} \right| + \ln |1 - r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-2\gamma l}|$$

Es bedeuten:

Z_s, Z_e = Impedanz des Senders, bzw. Empfängers
 Z_1, Z_2 = Wellenwiderstand am Ein-, bzw. Ausgang

$$r_1 = \frac{Z_s - Z_1}{Z_s + Z_1} \quad r_2 = \frac{Z_e - Z_2}{Z_e + Z_2}$$

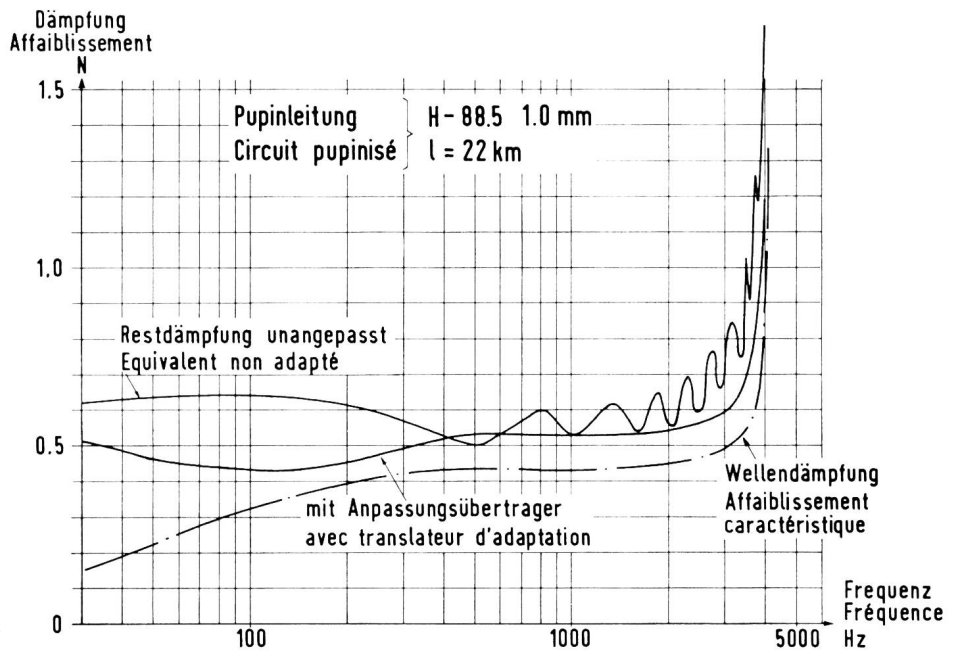
quadripôle. En général, si l'on tient compte de l'adaptation, on peut déterminer l'affaiblissement composite selon la formule suivante:

$$A = \alpha \cdot l + \ln \left| \frac{Z_s + Z_1}{2\sqrt{Z_s \cdot Z_1}} \right| + \ln \left| \frac{Z_e + Z_2}{2\sqrt{Z_e \cdot Z_2}} \right| + \ln |1 - r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-2\gamma l}|$$

où

Z_s, Z_e = Impédance de l'émetteur ou du récepteur
 Z_1, Z_2 = Impédance caractéristique à l'entrée ou à la sortie

$$r_1 = \frac{Z_s - Z_1}{Z_s + Z_1} \quad r_2 = \frac{Z_e - Z_2}{Z_e + Z_2}$$



4. Bestimmung der Dämpfung

Die Kenntnis der Dämpfung ist von besonderer Bedeutung bei der Beurteilung eines Übertragungssystems und dessen Qualität. Von einer homogenen Leitung kann die Dämpfung ohne Schwierigkeiten berechnet werden.

Eine Berechnung der Dämpfung ist dann angebracht, wenn die Leitung noch gar nicht existiert, es sich also um ein Projekt handelt oder die Leitung nicht greifbar ist. Zudem ist eine Berechnung der Dämpfung immer am Platze, wenn Zweifel über die Richtigkeit einer Messung bestehen. Die für die verschiedenen Fälle passende Formel kann der *Tabelle I* entnommen werden. Eine weitere Voraussetzung, um zum gewünschten Resultat zu kommen, ist die genaue Kenntnis der Leitungskonstanten. Mit Hilfe der angeführten Formeln erhält man den Dämpfungsbelag und nach Multiplikation mit der Leitungslänge die Wellendämpfung. Eine gerechnete Dämpfung wird je nach den getroffenen Annahmen und Vereinfachungen mit den wirklichen Verhältnissen übereinstimmen.

4. Détermination de l'affaiblissement

La connaissance de l'affaiblissement est d'une importance particulière pour apprécier un système de transmission et sa qualité. On peut calculer sans difficulté l'affaiblissement d'un circuit homogène. C'est pourquoi un tel calcul est indiqué, alors même que le circuit n'existe pas encore, qu'il s'agisse d'un projet ou qu'on ne puisse atteindre le circuit dans cette intention. Au surplus, un calcul de l'affaiblissement est également toujours indiqué quand il existe des doutes sur l'exactitude d'une mesure.

Les formules applicables aux différents cas sont contenues dans le *tableau I*. Une autre condition nécessaire à l'obtention du résultat désiré est de connaître avec précision les constantes linéiques. Au moyen des formules citées, on obtient la constante d'affaiblissement et, après multiplication par la longueur du circuit, l'affaiblissement caractéristique. Suivant les hypothèses et les simplifications admises, un affaiblissement calculé se rapprochera plus ou moins de la réalité.

Tabelle I Die gebräuchlichsten Dämpfungsformeln – Les formules les plus employées

Leitungsart Genre de circuit	Anwendung – Emploi	Formel – Formule
Freileitung Ligne aérienne $4 > \phi > 2$ mm	$\frac{R}{\omega L} \approx 1$	$\left(\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) \left[1 - \frac{1}{8\omega^2} \left(\frac{R}{L} - \frac{G}{C} \right) \right]$
$\phi < 2$ mm	$\frac{R}{\omega L} > 1$	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \left(1 - \frac{\omega L}{2R} + \frac{G}{2\omega C} \right)$
Unpupiniertes Kabel Câble non pupinisé	$\phi > 1,0$ mm	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R} \right)^2} - \frac{\omega L}{R} \right]$
Unpupiniertes Kabel Câble non pupinisé	$\phi < 1,0$ mm	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}}$
Pupiniertes Kabel Câble pupinisé	Mittlere Frequenzen Fréquences moyennes	$\frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$
Pupiniertes Kabel Câble pupinisé	Tiefe Frequenzen Fréquences basses	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}} \cdot \left(1 - \frac{\omega L}{2R} \right)$
Pupiniertes Kabel Câble pupinisé	Höhere Frequenzen Fréquences élevées	$\left[\frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{2}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2}}$

Wenn es die Verhältnisse erlauben, wird man nach Möglichkeit die Dämpfung messen. Eine klassische, aber etwas komplizierte Methode ist die Auswertung der Leerlauf-Kurzschlussmessung. Von der interessierenden Leitung wird die Eingangsimpedanz bei Leerlauf (Z_L) und Kurzschluss (Z_K) am andern Ende gemessen. Man erhält dann

$$\operatorname{tgh} \gamma \cdot l = \sqrt{\frac{Z_K}{Z_L}} = M \cdot e^{j\varphi} \quad (10)$$

und es lässt sich die Dämpfung bestimmen zu

$$A = \frac{1}{4} \ln \frac{1 + 2M \cos \varphi + M^2}{1 - 2M \cos \varphi + M^2} \quad (11)$$

Die Leerlauf- und Kurzschluss-Messung ist ein sehr interessanter Aspekt der Übertragungstheorie.

Aus den zwei Impedanzmessungen lassen sich noch der Wellenwiderstand und die Leitungsconstanten bestimmen. Diese Methode hat nur den Nachteil, dass die Berechnung einen grossen Aufwand erfordert.

Eine weitere, früher viel praktizierte Methode ist der Vergleich mit einer Eichleitung (Fig. 4). Diese

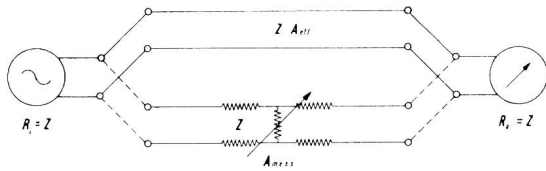


Fig. 4

Methode liefert wohl genaue Resultate, bedingt aber, dass Anfang und Ende der Leitung am gleichen Ort sind, das heisst, eine Schlaufe erstellt werden kann.

Dank den Fortschritten im Bau von Instrumenten werden heute Dämpfungen zwischen einem Pegelsender von konstanter Spannung und einem Pegelzeiger mit genauem Eingangsverstärker (Fig. 5) direkt gemessen. Das Anzeiginstrument des Empfängers zeigt dann unmittelbar die Dämpfung an.

Die weitaus gebräuchlichste Messung ist die Bestimmung der Restdämpfung. Letztere entspricht der Wellendämpfung, wenn zwischen Messgeräten und Leitung gute Anpassung besteht. Je mehr jedoch die Leitungsimpedanz in Betrag und Phase von den 600 Ohm abweicht, desto grösser werden die Verluste durch Fehlanpassung. Die Restdämpfung hat dann nur für diese Anlage Gültigkeit. Eine Extrapolation auf andere Längen ist in diesem Fall immer mit einer gewissen Ungenauigkeit verbunden. Unter der Voraussetzung, dass für die zu untersuchende Leitung Nachbildungen vorhanden sind, lässt sich die Wellendämpfung wie folgt bestimmen: Die 600-Ohm-Widerstände der Restdämpfungsmessung werden durch passende Nachbildungen ersetzt (Fig. 6). Die Lei-

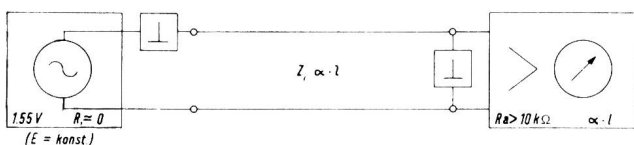


Fig. 6

Si les circonstances le permettent, on mesurera l'affaiblissement. Une méthode classique mais quelque peu compliquée est l'analyse de la mesure d'impédance à circuit ouvert (Z_L) et à circuit fermé (Z_K). On obtient alors

$$\operatorname{tgh} \gamma \cdot l = \sqrt{\frac{Z_K}{Z_L}} = M \cdot e^{j\varphi} \quad (10)$$

et l'affaiblissement peut être déterminé par:

$$A = \frac{1}{4} \ln \frac{1 + 2M \cos \varphi + M^2}{1 - 2M \cos \varphi + M^2} \quad (11)$$

Cette méthode de mesure est un aspect très intéressant de la théorie de la transmission.

Sur la base de deux mesures d'impédance, on peut encore déterminer l'impédance caractéristique et les constantes linéiques. Ce procédé présente toutefois l'inconvénient d'un nombre très élevé de calculs.

Une autre méthode naguère souvent utilisée est la comparaison avec une ligne artificielle (fig. 4). Si les résultats ainsi obtenus sont bien exacts, il faut cependant que les deux extrémités du circuit se trouvent au même endroit, c'est-à-dire que l'on puisse former une boucle.

Les progrès réalisés dans la construction des instruments permettent aujourd'hui de mesurer des affaiblissements directement au moyen d'un générateur de fréquences à tension constante et d'un hypsomètre équipé d'un amplificateur d'entrée de précision (fig. 5), indiquant directement l'affaiblissement.

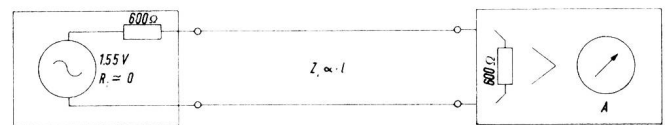


Fig. 5

La mesure qui est de loin la plus utilisée est la détermination de l'équivalent. Ce dernier correspond à l'affaiblissement linéique, dans les conditions d'une adaptation parfaite entre appareils de mesure et ligne. Plus l'impédance du circuit diffère de 600 ohms en grandeur et en phase, plus les pertes causées par une mauvaise adaptation sont élevées. L'équivalent n'est alors valable que pour l'installation considérée.

Une extrapolation pour d'autres longueurs est toujours sujette à une certaine inexactitude. A condition que les équilibres soient à disposition pour les circuits à examiner, l'affaiblissement caractéristique peut être déterminé comme il suit: les résistances de 600 ohms de la mesure d'équivalent sont remplacées par des équilibres convenables (fig. 6). Le circuit est alors terminé de manière idéale, l'affaiblissement mesuré correspond à l'affaiblissement caractéristique $\alpha \cdot l$ et il est proportionnel à la longueur du circuit.

Si l'on ne dispose que d'un équilibreur, on obtient le même résultat en alimentant directement le circuit avec une tension d'émission constante de 0,775 V. Tension constante signifie que la résistance interne

tung ist so ideal abgeschlossen, die gemessene Dämpfung entspricht der Wellendämpfung $\alpha \cdot l$ und ist proportional zur Leitungslänge.

Verfügt man nur über eine Nachbildung, so erhält man das gleiche Resultat, wenn man eine konstante Sendespannung von 0,775 V direkt in die Leitung einspeist. Konstante Spannung will heissen, dass der Innenwiderstand der Stromquelle vernachlässigt werden kann, und somit bleibt die Klemmenspannung praktisch unabhängig von der Belastung.

Ist die Restdämpfung einer Leitung zu bestimmen, deren Impedanz von 600 Ohm wesentlich abweicht, so werden zur Anpassung der Impedanzen entsprechende Übertragerspulen verwendet. In diesem Fall wird auch die Dämpfung der Spulen und deren Frequenzgang mitgemessen. Diese kann getrennt bestimmt und vom Total abgezogen werden. Sind keine Spulen vorhanden, so kann man sich gemäss Figur 6 behelfen: Der Innenwiderstand des Senders und der Eingangswiderstand des Empfängers werden extern durch Widerstände gebildet, die dem Nennwert der Leitungsimpedanz entsprechen.

5. Dämpfungsmasse und -einheiten

Obwohl die Dämpfung ein Exponent und somit dimensionslos ist, hat man ihren Einheiten einen Namen gegeben. Für alle bis dahin verwendeten Dämpfungsformen ist die Einheit das Neper (N). Ein Neper Dämpfung liegt dann vor, wenn das Verhältnis der Spannungen $U_1 : U_2 = e^1 = 2,7182$ ist.

Zur Vermeidung unnötiger Dezimalstellen wird auch dN für Dezineper, cN für Centineper und mN für Millineper verwendet.

Das Rechnen mit Neper scheint für den mit dem Dezimalsystem Vertrauten vorerst etwas schwierig; bei näherer Betrachtung zeigt es sich aber, dass auch dieses System seine Vorteile hat.

Zwischen dem Exponenten (Dämpfung) und der Potenz (Spannungs- oder Stromverhältnis) besteht folgender Zusammenhang:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots \quad (12)$$

Während für Werte von $x \geq 1$ die Reihe nur langsam abklingt, vereinfacht sich die Berechnung für $x \ll 1$ bedeutend. Beispiel $x = 0,1$, gesucht $e^{0,1}$:

$$e^{0,1} = 1 + 0,1 + \frac{0,01}{2} + \frac{0,001}{6} + \frac{0,0001}{24} + \dots = 1,1052$$

Das Beispiel zeigt deutlich, dass, je nach der gewünschten Genauigkeit und der Grösse von x , die Reihe abgekürzt werden kann. Demgemäss kann man setzen

$$\ln(1+x) \cong x \text{ gültig für } x \ll 1 \quad (13)$$

Beispiel: $\ln 1,03 \approx 0,03$.

Kenntnis und Anwendung dieser Gegebenheiten ist für geringe Dämpfungen von besonderer Bedeutung. Man kann somit mit genügender Genauigkeit auch %

de la source de courant peut être négligée et, de cette façon, la tension de sortie ne dépend pratiquement pas de la charge.

Si l'on doit déterminer l'équivalent d'un circuit dont l'impédance diffère sensiblement de 600 ohms, on utilise généralement des bobines de translation correspondantes pour adapter les impédances. Dans ce cas, l'affaiblissement des bobines et leur caractéristique de fréquence seront mesurés en même temps. Cet affaiblissement peut être déterminé séparément et déduit du total. Si l'on ne dispose pas de bobine, on procédera comme indiqué à la figure 6. On monte, à la place des équilibres, des résistances qui correspondent à la valeur nominale de l'impédance du circuit à mesurer.

5. Mesures et unités d'affaiblissement

Bien que l'affaiblissement soit un exposant, donc sans dimension, on a donné un nom à ses unités. Pour toutes les formes d'affaiblissement utilisées jusqu'ici, l'unité est le néper (N). L'affaiblissement est de 1 N lorsque le rapport des tensions est le suivant:

$$U_1 : U_2 = e^1 = 2,7182$$

Pour éviter des décimales inutiles, on utilise également dN pour décinéper, cN pour centinéper et mN pour millinéper.

Le calcul en népers semble de prime abord difficile pour les familiers du système décimal. Un examen plus approfondi démontre cependant que ce système a aussi ses avantages.

Entre l'exposant (affaiblissement) et la puissance (rapport de tension ou d'intensité), il existe la relation suivante:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots \quad (12)$$

Tandis que pour des valeurs de $x \geq 1$ la progression ne décroît que lentement, le calcul est véritablement simplifié si $x \ll 1$. Par exemple, x étant égal à 0,1, on recherche $e^{0,1}$

$$e^{0,1} = 1 + 0,1 + \frac{0,01}{2} + \frac{0,001}{6} + \frac{0,0001}{24} + \dots = 1,1052$$

L'exemple montre clairement que, suivant le degré d'exactitude désiré et la grandeur de x , la progression peut être raccourcie. C'est pourquoi l'on peut fixer que

$$\ln(1+x) \cong x \text{ valable pour } x \ll 1 \quad (13)$$

Exemple: $\ln 1,03 = 0,03$

La connaissance et l'emploi de ces particularités sont d'une grande importance pour le calcul de petits affaiblissements. On peut aussi également rapprocher avec une exactitude suffisante le pour-cent et le cN: 5% de chute de tension correspondent à 5 cN d'affaiblissement.

mit cN gleichsetzen: 5% Spannungsabfall entsprechen 5 cN Dämpfung.

Um sich mit den Beziehungen zwischen Neper und Zahlenverhältnis noch besser vertraut zu machen, genügt es, sich einige Werte zu merken:

x	0	0,69	1,0	2,3	3,0	4,6	6,0	6,9
e ^x	1	2	2,7182	10	20,1	100	~400	1000
e ^{-x}	1	0,5	0,368	0,1	0,05	0,01	~0,00250	0,001

Beliebige Zwischenwerte können entweder Tabellen entnommen oder mit dem Rechenschieber bestimmt werden.

6. Dämpfung, ausgedrückt in Dezibel

Ausser dem Neper system, das die Zahl e zur Basis hat, wird ein System verwendet, das auf den Brigg'schen Logarithmen (Basis = 10) aufgebaut ist. Es unterscheidet sich noch dadurch, dass die Dämpfung direkt aus dem Leistungsverhältnis abgeleitet ist.

Danach ist

$$A = \log \frac{S_1}{S_2} \text{ in Bel} \quad (14)$$

oder $A = 10 \cdot \log \frac{S_1}{S_2} \text{ in Dezibel}$

$$A = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} - 10 \log \frac{Z_1}{Z_2} \quad (15)$$

Dieses System wurde erst kürzlich an dieser Stelle ausgiebig behandelt*, und es erübrigt sich deshalb, näher darauf einzutreten.

Für die Umrechnung von Neper in Dezibel und umgekehrt gelten folgende Beziehungen:

$$A \text{ in Neper} = A \text{ in Dezibel} \cdot 0,1151$$

oder $A \text{ in Dezibel} = A \text{ in Neper} \cdot 8,686$

7. Fehler und Dämpfung

Wie aus Formel 9 hervorgeht, wird die Wellendämpfung nur Wirklichkeit, wenn keine groben Fehlanspassungen bestehen. In Funktion des Reflexions-

faktors $r = \left| \frac{W - Z}{W + Z} \right|$ ergeben sich folgende zusätzlichen Dämpfungen:

r	0,1	0,141	0,2	0,282	0,4
AA	0,005	0,01	0,021	0,043	0,0953

Diese Zusammenstellung könnte dazu verleiten, der Anpassung keine besondere Beachtung zu schenken. Dies wäre aber ein Trugschluss. Ein grober Fehler wäre es auch, wenn eine Anpassungsspule falsch zwischen Leitung und Apparat eingeschaltet würde (Fig. 7).

* C. Ferrari: Connaissance du décibel, Techn. Mitteilungen PTT, Nr. 3/1962, S. 97.

Si l'on veut se familiariser encore davantage avec les relations entre les népers et les chiffres décimaux, il suffit de se rappeler quelques valeurs:

x	0	0,69	1,0	2,3	3,0	4,6	6,0	6,9
e ^x	1	2	2,7182	10	20,1	100	400	1000
e ^{-x}	1	0,5	0,368	0,1	0,05	0,01	0,00250	0,001

Des valeurs intermédiaires quelconques peuvent être tirées des tables ou calculées au moyen de la règle à calcul.

6. L'affaiblissement exprimé en décibels

En plus du système néper, dont la base est la grandeur e, on utilise un système fondé sur les logarithmes de Brigg (base = 10). Il se distingue en outre par le fait que l'affaiblissement est dérivé directement du rapport de puissance.

D'après cette méthode,

$$A = \log \frac{S_1}{S_2} \text{ en bels} \quad (14)$$

ou $A = 10 \cdot \log \frac{S_1}{S_2} \text{ en décibels}$

$$A = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} - 10 \log \frac{Z_1}{Z_2} \quad (15)$$

Ce système a été exposé récemment en détail dans ces colonnes*; il est donc superflu d'y revenir.

Pour transformer les népers en décibels et vice versa, les formules suivantes seront utilisées:

$$A \text{ en népers} = A \text{ en décibels} \cdot 0,1151$$

ou $A \text{ en décibels} = A \text{ en népers} \cdot 8,686$

7. Les défauts et l'affaiblissement

Ainsi que la formule 9 le confirme, l'affaiblissement caractéristique ne devient réalité que si aucune faute grossière d'adaptation n'a été commise. En fonction du facteur de réflexion $r = \left| \frac{W - Z}{W + Z} \right|$ apparaissent les affaiblissements supplémentaires suivants:

γ	0,1	0,141	0,2	0,282	0,4
AA	0,005	0,01	0,021	0,043	0,0953

Ce tableau pourrait nous induire à n'accorder aucune attention particulière à l'adaptation, mais ce serait là un faux calcul. On commettrait également une erreur grossière en connectant mal une bobine d'adaptation entre le circuit et l'appareil (fig. 7).

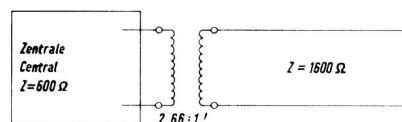


Fig. 7

* C. Ferrari: Connaissance du décibel, Bulletin technique PTT, n° 3/1962, p. 97.

Als Belastung der Stromquelle erscheint dann bei einer Pupinleitung H-177 die Impedanz Z mit $1600 \cdot 2,66 = 4300$ Ohm. Durch diese Fehlanpassung entsteht ein Leistungsverlust, der einer Stosdämpfung von

$$A = \ln \frac{600 + 4300}{2 \sqrt{600 \cdot 4300}} = \ln 1,52 = 0,42 \text{ N}$$

gleichkommt.

Vielfach besteht Unklarheit über die Auswirkung von Parallel- und Serieschaltungen auf die Dämpfung einer Verbindung. Werden zwei Leitungen parallel geschaltet, so findet nicht nur eine Leistungsteilung statt, sondern die Anpassung ist auch nicht mehr gewährleistet (Fig. 8).

Ohne Z_3 ist die Leistungsaufnahme von Z_2 $S_1 = \frac{E^2}{4 \cdot Z}$

Bei Parallelschaltung von Z_2 mit Z_3 reduziert sich die gegebene Leistung je Zweig auf

$$S_2 = \frac{E^2}{9 \cdot Z}$$

was einer Dämpfung von

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \ln \frac{S_1}{S_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{E^2}{4 \cdot Z} \cdot \frac{9Z}{E^2} \\ &= \frac{1}{2} \ln \frac{9}{4} = \ln \frac{3}{2} = 0,405 \text{ N} \end{aligned}$$

entspricht.

Selbstverständlich geht nicht soviel Leistung verloren. Durch die Parallelschaltung von zwei Leitungen mit gleicher Impedanz wird nur die Leistung geteilt.

$$A = \frac{1}{2} \ln 2 = \frac{0,693}{2} = 0,346 \text{ Neper}$$

Die Differenz zwischen 0,346 und 0,405 N entfällt auf die Fehlanpassung. Solche Dämpfungen entstehen immer dann, wenn auf einer durchgeschalteten Leitung anstatt des Pegels die Restdämpfung gemessen wird.

Oft besteht die Versuchung, zwei Leitungen am Anfang und Ende parallel zu schalten, um, so lange es die Leitungsreserven gestatten, die Dämpfung zu reduzieren. Diese Schaltung kommt einer Leistungsteilung am Anfang gleich, jede Hälfte erfährt die gleiche Leitungsdämpfung, um schliesslich wieder vereinigt zu werden:

$$S_2 = \frac{S_1}{2} \cdot e^{-2\alpha l} + \frac{S_1}{2} \cdot e^{-2\alpha l} = S_1 \cdot e^{-2\alpha l}$$

Die zu übertragende Leistung wird also genau gleich gedämpft wie mit einer Leitung. Dazu kommen nun aber die Verluste durch die Fehlanpassung am Anfang und am Ende. Dass mit einer solchen Schaltung nichts gewonnen werden kann, geht auch aus der Überlegung hervor, dass durch die Parallelschaltung Widerstand und Impedanz halbiert und somit

die Serieverluste $\left(A_s = \frac{R/2}{2 \cdot Z/2} \right)$ gleich gross bleiben.

Sur un circuit pupinisé à H-177, l'impédance Z apparaît, en tant que charge de la source de courant, à une valeur de $1600 \cdot 2,66 = 4300$ ohms. Cette mauvaise adaptation provoque une perte de puissance équivalent à un affaiblissement de

$$A = \ln \frac{600 + 4300}{2 \sqrt{600 \cdot 4300}} = \ln 1,52 = 0,42 \text{ N}$$

Fréquemment, il existe une certaine confusion au sujet de l'influence des connexions en parallèle ou en série sur l'affaiblissement d'une liaison. Si deux circuits sont connectés en parallèle, non seulement il se produit une division de la puissance, mais l'adaptation n'est plus garantie (fig. 8).

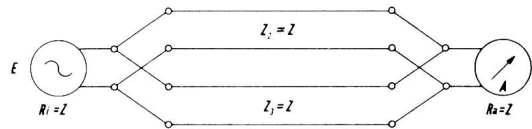


Fig. 8

Sans Z_3 , la puissance d'entrée de Z_2 est $S_1 = \frac{E^2}{4 \cdot Z}$.

Si Z_2 est connecté en parallèle avec Z_3 , la puissance de sortie de chaque dérivation se réduit à:

$$S_2 = \frac{E^2}{9 \cdot Z}$$

ce qui correspond à un affaiblissement de

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \ln \frac{S_1}{S_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{E^2}{4 \cdot Z} \cdot \frac{9Z}{E^2} \\ &= \frac{1}{2} \ln \frac{9}{4} = \ln \frac{3}{2} = 0,405 \text{ N} \end{aligned}$$

La plus grande partie de ces pertes sont dues à la division de la puissance:

$$A = \frac{1}{2} \ln 2 = \frac{0,693}{2} = 0,346 \text{ N}$$

La différence entre 0,346 et 0,405 N est causée par l'erreur d'adaptation. De semblables affaiblissements apparaissent toujours quand, au lieu du niveau, on mesure l'équivalent d'un circuit connecté en transit.

On essaie souvent, en tant que la réserve de circuits le permet, de connecter deux circuits en parallèle à chaque extrémité pour réduire l'affaiblissement. Cette connexion équivaut au début à une division de puissance; chaque moitié subit le même affaiblissement et, en fin de compte, les deux moitiés sont à nouveau réunies.

$$S_2 = \frac{S_1}{2} \cdot e^{-2\alpha l} + \frac{S_1}{2} \cdot e^{-2\alpha l} = S_1 \cdot e^{-2\alpha l}$$

La puissance à transmettre est donc affaiblie exactement dans la même mesure qu'avec un seul circuit. Toutefois il s'y ajoute les pertes dues à l'adaptation fautive à l'entrée et à la sortie du circuit. Si l'on considère encore que, par la connexion en parallèle, la résistance et l'impédance sont divisées

par deux, les pertes longitudinales $\left(A_s = \frac{R/2}{2 \cdot Z/2} \right)$ restent

Das Gegenstück zur Parallelschaltung ist die Serie-
schaltung von zwei gleichen Impedanzen. Auch hier
wird die Leistung aufgeteilt (Fig. 9).

Ohne Z_3 ist die Leistung in Z_2

$$S_1 = \frac{E^2}{4 \cdot Z}$$

und mit Z_3

$$S_2 = \frac{E^2}{9 \cdot Z}$$

und somit wird

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{E^2}{4 \cdot Z} \cdot \frac{9 \cdot Z}{E^2} = \frac{1}{2} \ln \frac{9}{4} = \ln \frac{3}{2} \\ = 0,405 \text{ Neper}$$

Obwohl es zwei grundverschiedene Schaltungen
sind, wird die Dämpfung genau gleich gross wie bei
der Parallelschaltung.

Ausser diesen Spezialfällen gibt es noch andere
Varianten, die interessieren. Eine davon ist die Dämp-
fung, die durch Ableitung entsteht. Es stellt sich
nämlich häufig die Frage, bei welcher Ableitung eine
Verständigung unmöglich wird. Für pupinisierte
Kabel gilt für die Ableitungsdämpfung

$$A_G = \frac{G \cdot Z}{2}$$

Bei einem akuten Kabelfehler sei die Ableitung
1/100 000 Ohm. Die zusätzliche Dämpfung für eine
Leitungsimpedanz von 1200 Ohm wird aber nur

$$A_g = 1200/100\,000 \cdot 2 = 0,006 \text{ Neper.}$$

Damit der Betrieb einer Leitung ernsthaft gestört
wird, muss der Isolationswiderstand schon bis in die
Grössenordnung der Leitungsimpedanz absinken.

Schlechte Kontakte oder Lötstellen sind besonders
heimtückische Fehler. Solange sie aber nur einen
Zusatzwiderstand von beispielsweise 60 Ohm dar-
stellen, ist die dabei entstehende Dämpfung bloss

$$A = \frac{R}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 1200} = 0,025 \text{ N und deshalb kaum}$$

feststellbar. Für die Dämpfung einer Leitung mit
eindrätig schlechtem Kontakt oder gar Unterbruch
gelten übrigens andere Regeln. Jeder Draht hat eine
Kapazität gegen Erde. Bei grösseren Übergangs-
widerständen wirken nun die Erdkapazitäten als
Nebenschluss, so dass die Dämpfung (Fig. 10) nicht
direkt mit dem Übergangswiderstand ansteigt.

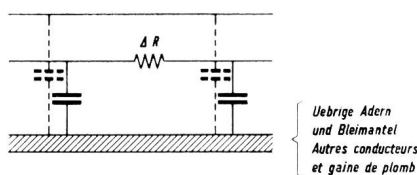


Fig. 10

les mêmes, on admettra qu'on ne gagne absolument
rien à utiliser une telle connexion, mais qu'au con-
traire on y perd.

Le pendant de la connexion en parallèle est la
connexion en série de deux mêmes impédances. Ici
la puissance est également divisée (fig. 9).

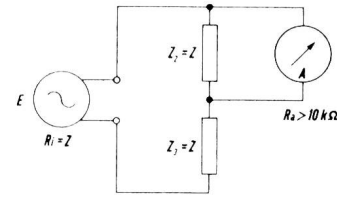


Fig. 9

Sans Z_3 , la puissance en Z_2 est de

$$S_1 = \frac{E^2}{4 \cdot Z}$$

et avec Z_3

$$S_2 = \frac{E^2}{9 \cdot Z}$$

d'où

$$A = \frac{1}{2} \ln \frac{E^2}{4 \cdot Z} \cdot \frac{9 \cdot Z}{E^2} = \frac{1}{2} \ln \frac{9}{4} = \ln \frac{3}{2} \\ = 0,405 \text{ néper}$$

Bien qu'il s'agisse de deux connexions différentes
en principe, l'affaiblissement est exactement de la
même grandeur qu'avec une connexion en parallèle.

Outre ces cas particuliers, d'autres variantes pré-
sentent également de l'intérêt. L'une d'entre elles est
l'affaiblissement provoqué par la perdittance. On se
demande souvent même avec quelle perdittance
l'intelligibilité devient impossible. Pour les câbles
pupinisés, l'affaiblissement dû à la perdittance s'ex-
prime par

$$A_G = \frac{G \cdot Z}{2}$$

Lors d'un important défaut de câble, la perdittance
serait de 1/100 000 ohm. L'affaiblissement supplé-
mentaire pour une impédance de circuit de 1200 ohms
ne serait alors que

$$A_g = 1200/100\,000 \cdot 2 = 0,006 \text{ néper.}$$

Pour que l'exploitation d'un circuit soit sérieuse-
ment perturbée, la résistance d'isolement doit déjà
diminuer de l'ordre de grandeur de l'impédance du
circuit.

Les contacts ou points de soudure défectueux
représentent des défauts particulièrement désagréa-
bles. Toutefois, aussi longtemps qu'ils n'engendrent,
par exemple, qu'une résistance supplémentaire de
60 ohms, l'affaiblissement ainsi provoqué atteint

$$\text{seulement } A = \frac{R}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 1200} = 0,025 \text{ N, et l'on peut}$$

à peine constater son existence.

Au demeurant, d'autres règles sont valables pour
l'affaiblissement d'un circuit présentant un mauvais

Figur 11 zeigt den ungefähren Zusammenhang zwischen Übergangswiderstand und Dämpfung in einem Fernkabel. Was in der Kurve nicht zum Ausdruck kommt, sind die Geräusche, die durch die Unsymmetrie auf die Leitung gelangen und die Verständigung beeinträchtigen.

contact sur un fil ou même une interruption. Ainsi, par exemple, chaque fil a une capacité contre la terre. Mais, en cas de résistances additionnelles élevées, ces capacités agissent comme un shunt (fig. 10); c'est pourquoi l'affaiblissement ne croît pas avec la résistance.

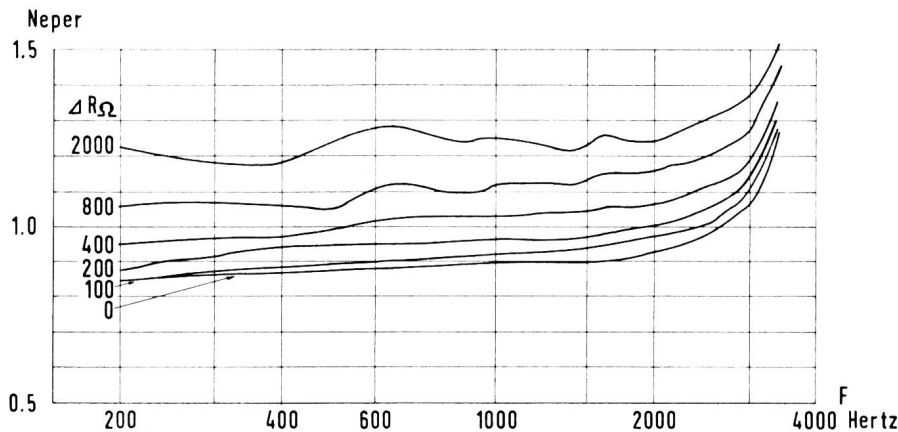


Fig. 11

8. Dämpfungsverzerrung

Während die Längsverluste im Tonfrequenzgebiet annähernd konstant bleiben, verursacht die Querkapazität zwischen den Adern mit zunehmender Frequenz steigende Verluste. Dieser Anstieg der Dämpfung wird Dämpfungsverzerrung genannt. Bei unpupinisierten und bei pupinisierten Kabeln, besonders bei den tiefen Frequenzen, ist die Dämpfungsverzerrung eine Funktion von \sqrt{f} . Beim Pupinkabel tritt gegen die Grenzfrequenz hin eine zusätzliche Sperrwirkung auf, die durch die Kettenglieder, bestehend aus Spuleninduktivität und Kapazität, erzeugt wird.

Die Dämpfungsverzerrung wird auch als lineare Verzerrung bezeichnet. Sie wird normalerweise auf die Dämpfung bei 800 Hz bezogen und kann sowohl negativ wie positiv sein. Neben dem Betrag der Dämpfung bei 800 Hz charakterisiert sie in erster Linie die Übertragungsqualität einer Verbindung.

9. Welligkeit

Unter gewissen Bedingungen weist eine Dämpfungskurve eine Welligkeit auf. Diese ist in der allgemeinen Formel 9 mit dem Ausdruck

$$\ln |1 - r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-2\gamma l}|$$

berücksichtigt.

Die Welligkeit wird durch Reflexion an zwei Stellen verursacht. Der zweimal reflektierte Spannungsvektor hat dann wieder die gleiche Übertragungsrichtung wie der ursprüngliche Vektor; er ist jedoch gegenüber diesem um die Anteile $2\alpha l + \ln \frac{1}{r_1} + \ln \frac{1}{r_2}$ gedämpft, und zudem ist sein Phasenmass um den Betrag von $2\beta l$ grösser (Fig. 12).

Je nach Phasenlage findet also eine Addition oder eine Subtraktion statt, woraus sich die Welligkeit

La figure 11 illustre la relation approximative entre la résistance additionnelle et l'affaiblissement dans un câble interurbain. Ce qui n'apparaît pas dans la courbe, ce sont les bruits provoqués sur le circuit par la dissymétrie, qui, à vrai dire, sont préjudiciables à l'intelligibilité.

8. Distorsion d'affaiblissement

Tandis que les pertes longitudinales restent presque constantes dans la bande des fréquences vocales, la capacité transversale entre les paires provoque des pertes accrues lorsque la fréquence augmente. Cet accroissement de l'affaiblissement s'appelle la distorsion d'affaiblissement. Dans les câbles pupinisés et non pupinisés, spécialement pour les basses fréquences, la distorsion d'affaiblissement est une fonction de \sqrt{f} .

Sur les câbles pupinisés, un effet supplémentaire de blocage se produit aux alentours de la fréquence de coupure; il est causé par les cellules composées de l'inductivité des bobines et la capacité des conducteurs.

La distorsion d'affaiblissement est également appelée distorsion linéaire. Elle est normalement déterminée à 800 Hz et peut être aussi bien négative que positive. Avec la grandeur de l'affaiblissement à 800 Hz, elle caractérise en tout premier lieu la qualité de transmission d'une liaison.

9. Ondulation

Une courbe d'affaiblissement présente sous certaines conditions une ondulation. On a tenu compte de celle-ci dans la formule générale 9 avec l'expression

$$\ln |1 - r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-\gamma l}|$$

L'ondulation est provoquée par une réflexion à deux endroits. Le vecteur de tension réfléchi deux

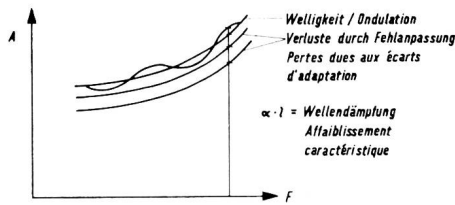


Fig. 12

erklärt. Immerhin muss die Anpassung schlecht, die Leitungsdämpfung nicht zu stark und die zusätzliche Phasendrehung im übertragenen Frequenzband trotzdem genügend sein, damit die Welligkeit auffällt.

Beispiel: Pupinleitung $Z = 1200 \Omega$ nicht angepasst,

$$R_i \text{ des Senders} = R_a \text{ des Empfängers} = 600 \Omega$$

$$\alpha = 0,02 \text{ N} \quad l = 20 \text{ km}$$

$$\text{Es ist } r_1 = r_2 = \frac{1200 - 600}{1200 + 600} = \frac{600}{1800} = 0,33$$

Gesucht ist das Modul der Welligkeit

$$\begin{aligned} \Delta A &= \ln |1 - r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-2\alpha l}| \\ &= \ln |1 - 0,33 \cdot 0,33 \cdot e^{-2 \cdot 0,02 \cdot 20}| \\ &= \ln |1 - 0,05| = 0,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Die Welligkeit kann also $\pm 0,05 \text{ N}$ ausmachen. Die Maxima oder Minima der Welligkeit treten in Intervallen von $\Delta f = \frac{V_o}{2 \cdot l}$ auf. Für das angeführte Beispiel wird

$$\Delta f \cong \frac{20\,000}{2 \cdot 20} = 500 \text{ Hz}$$

V_o = Fortpflanzungsgeschwindigkeit

Wird die Dämpfung abwechselnd in beiden Richtungen gemessen, so ist es zur Vermeidung von Fehlschlüssen bei Welligkeit wichtig, dass die Messfrequenzen übereinstimmen.

Das Beispiel zur Demonstration der Welligkeit ist vielleicht etwas gesucht. Es beweist aber, dass eine mässige Welligkeit der Dämpfungskurve auf Fehlanpassungen an zwei Stellen hinweist.

10. Niveau für Dämpfungsmessungen

Die gebräuchliche Restdämpfungsmessung wird mit einer Stromquelle vorgenommen, die bei $R_i = R_a = 600 \Omega$ Belastung 1 mW Leistung abgibt. Dieser Leistung entspricht eine EMK von 1,55 V oder eine Klemmenspannung von 0,775 Volt und wird als Pegel 0 bezeichnet. Spannungen, die mit diesen 0,775 V verglichen und in Dämpfungsmassen ausgedrückt werden, bezeichnet man mit Spannungspegel. Eine gedämpfte Spannung erhält einen negativen Spannungspegel. Diese Eigenheit ist gegeben durch die Beziehung

$$Pu = \ln \frac{U_x}{0,775}$$

fois possède alors le même sens de transmission que le vecteur primitif. Il est toutefois, à l'encontre de ce dernier, affaibli des parts $2\alpha l + \ln \frac{1}{r_1} + \ln \frac{1}{r_2}$ et, au surplus, son angle de déphasage est plus élevé de la valeur de $2\beta l$ (fig. 12).

Selon la phase, on obtient une addition ou une soustraction, dont résulte l'ondulation. En tout cas, il faut que l'adaptation soit mauvaise, l'affaiblissement pas trop élevé et le déphasage supplémentaire dans la bande de fréquences transmise suffisant pour que l'ondulation se manifeste.

Exemple: circuit pupinisé $Z = 1200 \Omega$ non adapté

$$R_i \text{ de l'émetteur} = R_a \text{ du récepteur} = 600 \Omega$$

$$\alpha = 0,002 \text{ N} \quad l = 20 \text{ km}$$

$$\text{Il y a } r_1 = r_2 = \frac{1200 - 600}{1200 + 600} = \frac{600}{1800} = 0,33$$

On recherche l'amplitude de l'ondulation

$$\begin{aligned} \Delta A &= \ln |1 - r_1 \cdot r_2 \cdot e^{-2\alpha l}| \\ &= \ln |1 - 0,33 \cdot 0,33 \cdot e^{-2 \cdot 0,002 \cdot 20}| \\ &= \ln |1 - 0,05| = 0,05 \text{ N} \end{aligned}$$

L'ondulation peut donc avoir un effet de $\pm 0,05 \text{ N}$. Les maximums ou minimums de l'ondulation apparaissent à intervalle de

$$\Delta f = \frac{V_o}{2 \cdot l} \cong \frac{20\,000}{2 \cdot 20} = 500 \text{ Hz pour l'exemple cité}$$

V_o = vitesse de propagation

Si l'affaiblissement est mesuré alternativement dans les deux sens, il est important que les fréquences de mesure correspondent, pour éviter de fausses conclusions provoquées par l'ondulation.

L'exemple ayant servi à démontrer l'ondulation est peut-être un peu recherché. Par contre, il prouve qu'une faible ondulation de la courbe d'affaiblissement est due à des fautes d'adaptation à deux endroits.

10. Niveau pour les mesures d'affaiblissement

La mesure d'équivalent la plus utilisée est effectuée avec une source de courant, qui, pour $R_i = R_a = 600 \Omega$ de charge, émet une puissance de 1 mW. Cette puissance correspond à une force électromotrice de 1,55 V, ou une tension de sortie de 0,775 V; elle est désignée comme niveau 0. Lorsque des tensions sont comparées à ces 0,775 V et exprimées en unités d'affaiblissement, on les appelle niveaux de tension. Une tension affaiblie reçoit un niveau de tension négatif, cette propriété étant donnée par les relations suivantes

$$Pu = \ln \frac{U_x}{0,775}$$

Ist zum Beispiel $U_x > 0,775 \text{ V}$, so erhält man eine positive Pegelabweichung, das heisst es liegt eine Verstärkung vor.

Während man bei unverstärkten NF-Leitungen in der Wahl des Sendepiegels eine grosse Freiheit hat – nach oben ist man durch die Leistungsfähigkeit des Senders und der Beeinflussung anderer Stromkreise, nach unten durch allfällige Leitungsgeräusche und die Empfindlichkeit des Empfängers eingeengt –, muss bei Leitungen mit Verstärkern dem Sendepiegel besondere Beachtung geschenkt werden. Jeder Verstärker arbeitet linear nach oben nur bis zu einer gewissen Leistung. Wird dieser Punkt überschritten, so nimmt die Ausgangsspannung nicht mehr proportional zur Eingangsspannung zu. Da die Spannung des Wechselstromes sinusförmig schwankt, werden besonders die Amplituden nicht mehr getreu übertragen, es entstehen zusätzliche nichtlineare Verzerrungen.

In Trägerfrequenzsystemen ist zur Vermeidung von Übersteuerung besondere Vorsicht am Platze. Durch die Überlastung einzelner Kanäle können ganze Systeme übersteuert und gestört werden. Dies äussert sich vorerst durch zusätzliche Geräusche in den übrigen Kanälen der gleichen Gruppe. Speist man am Schaltpunkt $-4,7 \text{ N}$ eine Messfrequenz direkt in eine Primärgruppe ein, so ist es nicht gleichgültig, ob das Sendeniveau $-4,7 \text{ N}$ oder 0 N beträgt. Im zweiten Fall müsste dann am Punkt $+0,50 \text{ N}$, entsprechend der dazwischenliegenden Verstärkung, eine Leistung von einigen Kilowatt erscheinen. Dies wird wegen der Begrenzung nicht der Fall sein. Dafür können durch diese Übersteuerung ganze Primär- und Sekundärgruppen ausser Betrieb gesetzt werden.

11. Schlussbetrachtung

Die Dämpfung ist heute in der Elektrotechnik ein allgemein gebräuchlicher Begriff geworden. Zur Vermeidung von Irrtümern und Missverständnissen ist es unumgänglich, im konkreten Fall zu unterscheiden, ob damit eine Wellen-, Rest- oder Betriebsdämpfung gemeint ist. Die Dämpfung ist bei allen Leitungssystemen irgendwie frequenzabhängig, somit gehört zum Dämpfungswert auch die Angabe über die Bezugsfrequenz.

In der Einleitung wurde die Dämpfung mit Schwächung verglichen. Die Dämpfung ist eine durch die Naturgesetze gegebene Erscheinung. Solange aber noch ein sauberer Rest an Energie übrig bleibt, kann dieser, dank der Verstärkertechnik, wieder voll zur Geltung gebracht werden.

Si, par exemple, $U_x > 0,775 \text{ V}$, on obtient un dénivellement positif, il existe une amplification.

Tandis que l'on dispose d'une liberté assez grande pour le choix du niveau d'émission des circuits BF non amplifiés, on est limité par la puissance de l'émetteur et les effets d'induction sur les autres circuits; de même, à faible niveau, le résultat sera influencé par d'éventuels bruits de ligne; il convient donc d'accorder une attention particulière au niveau d'émission des circuits équipés d'amplificateurs. Chaque amplificateur ne travaille de façon linéaire vers le haut que jusqu'à une certaine puissance. Si ce point est dépassé, la tension de sortie ne croît plus proportionnellement avec la tension d'entrée. La tension du courant alternatif oscillant en forme de sinus, les amplitudes ne seront, en particulier, plus transmises fidèlement, et il se produira des distorsions non linéaires supplémentaires.

Dans les systèmes à courants porteurs, il faut faire preuve d'une prudence avisée pour éviter une surcharge. Des systèmes entiers peuvent être saturés et dérangés par la surcharge de voies isolées. Ce phénomène se manifeste tout d'abord par des bruits additionnels dans les autres voies du même groupe. Si l'on émet au point de mesure $-4,7 \text{ N}$ une fréquence de mesure directement dans un groupe primaire, il n'est pas égal que le niveau d'envoi soit $-4,7 \text{ N}$ ou 0 N . Dans ce dernier cas, il devrait apparaître une puissance de quelques kilowatts au point $+0,50 \text{ N}$, puissance correspondant à l'amplification survenue dans l'intervalle. Grâce à la limitation, ce cas ne se produira pas. Par contre, en raison d'une surcharge, des groupes entiers, primaires et secondaires, peuvent être mis hors service.

11. Conclusion

L'affaiblissement est devenu une notion générale de l'électrotechnique. Pour éviter des erreurs et des malentendus, il est indispensable de distinguer, dans le concret, si l'on fait état d'affaiblissement caractéristique, d'équivalent ou d'affaiblissement composite. Dans tous les systèmes de circuits, l'affaiblissement, d'une manière ou d'une autre, dépend de la fréquence; ainsi donc, il convient d'indiquer, avec la valeur de l'affaiblissement, également la fréquence de référence.

Au début de cet article, l'affaiblissement a été comparé à une atténuation. C'est un phénomène régi par les lois de la nature. Toutefois, aussi longtemps que subsiste un restant d'énergie pure, celui-ci peut, grâce à la technique de l'amplification, être entièrement revalorisé.