Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe

Band: 37 (1959)

Heft: 12

Artikel: Begegnung mit der Impedanz

Autor: Nüsseler, Franz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875477

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.01.2026

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

FRANZ NÜSSELER, Bern

Begegnung mit der Impedanz

621.3.011.21

Zusammenfassung. *Der Begriff und die Bedeutung der Impedanz werden näher untersucht und die Zusammenhänge mit der drahtgebundenen Übertragung kurz beschrieben. Die dabei unvermeidlichen mathematischen Formeln sind nur andeutungsweise abgeleitet. Wo es möglich war, wurden Vergleiche mit uns vertrauten Naturvorgängen angestellt.*

Résumé. *L'auteur explique ce qu'est l'impédance, en montre l'importance et décrit son action dans la transmission par fil. Les formules mathématiques inévitables sont obtenues par simple déduction. Partout où la chose était possible, des comparaisons ont été faites avec des phénomènes naturels connus.*

Einleitung

Der Ausdruck Impedanz findet sich nicht nur in der Theorie der Übertragungstechnik, sondern in allen damit zusammenhängenden praktischen Fragen. Diese Bezeichnung, die für viele Übertragungsfachleute ein Begriff geworden ist, stammt aus dem lateinischen Sprachgebrauch *(impedimentum* = Hindernis, Hemmnis). Wir werden später sehen, inwiefern es damit eine Bewandtnis hat.

Die Impedanz spielt in jedem elektrischen, drahtgebundenen Übertragungssystem eine sehr bedeutende Rolle. Während der Einfluss der Dämpfung auf die Übertragung bekannt sein dürfte, ist es sicher nicht unangebracht, einmal die Bedeutung und die Zusammenhänge mit der Impedanz unter die Lupe zu nehmen.

Der Techniker versteht unter einer Impedanz einen Wechselstromscheinwiderstand, zusammengesetzt aus einem Wirk- und einem Blindwiderstand oder, mit den Begriffen der komplexen Rechnungsweise ausgedrückt, einem reellen und imaginären Anteil. Da ein Blindwiderstand aus Induktivität oder Kapazität besteht, lässt sich weiter schliessen, dass die Impedanz frequenzabhängig sein wird. Die Impedanz ersetzt für Wechselstrom den Widerstand im Ohmschen Gesetz und entspricht dem Verhältnis der Scheitelwerte der Spannung in einem Zweig eines elektrischen Stromkreises zum durchfliessenden Strom.

Im konkreten Fall ist die Impedanz ein Zweipol, gebildet aus den Komponenten des Scheinwiderstandes, entweder in Serie- oder Parallelschaltung. Bei der Anwendung des Begriffes Impedanz auf eine Übertragungsleitung ergibt sich damit ein scheinbarer Widerspruch. Da eine Zweidrahtleitung ein Vierpol ist, fragen wir uns, wo wir hier die Impedanz finden, der bei der Übertragung besondere Bedeutung zukommt.

Die Impedanz einer Leitung

Die Leitungstheorie lehrt, dass zwischen der Spannungswelle (U), die sich über die Leitung fortpflanzt, und der dazugehörenden Stromwelle (J) ein Verhältnis von folgender Grösse besteht:

$$\frac{U}{J} = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

Darin bedeuten:

R' = Widerstand
L' = Induktivität
G' = Ableitung
C' = Kapazität

} je km Schlaufe

Dieser Ausdruck besitzt die Dimension von Ohm und wird als Wellenwiderstand oder charakteristische Impedanz Z_w bezeichnet. Wo und wie aber stellen wir diese Impedanz an der Leitung fest? Sieht man nämlich vom Eingang her in die Leitung, so finden wir keinen Scheinwiderstand, der der Leitungsimpedanz entsprechen würde. Wird die Leitung in kleine und kleinste Elemente unterteilt, so stellen wir fest, dass bei einer homogenen Leitung das Verhältnis der Leitungskonstanten gleich bleibt. Somit sollte auch das Verhältnis von Spannung zu Strom konstant bleiben. Die entsprechende Impedanz ist dadurch ein «richtiger» Scheinwiderstand, der an jedem Punkt der Leitung und unabhängig von deren Länge vorhanden ist. Da eine Leitung nicht unendlich lang sein kann, hängt das Verhältnis Z am Ausgang nicht mehr direkt von den Leitungskonstanten ab, sondern von deren Abschluss. Dass der Wellenwiderstand am Eingang eines Vierpols überhaupt als solcher erscheint, ist mit Voraussetzungen verbunden. Entweder muss die Leitung so lang sein, dass sich eine Reflexion vom fernen Ende nicht mehr spürbar auswirkt, oder sie wird mit einer Nachbildung abgeschlossen, einem Netzwerk das die gleiche Impedanz wie die Leitung besitzt, nur dass es ein Zweipol ist (Figur 1).

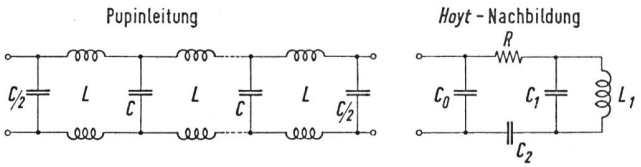

Fig. 1. Prinzipschema einer Pupinleitung mit der vollwertigen Nachbildung

Eine Leitung mit Totalreflexion kann man sich als ein Rohr vorstellen, das am fernen Ende mit einem Spiegel abgeschlossen ist. An diesem Spiegel entsteht eine fast hundertprozentige Reflexion des bis dahin eingefallenen Lichtes. Vom Eingang her sehen wir im Spiegel die Eintrittsöffnung im doppelten Abstand. Ist das Rohr (immer vorausgesetzt, dass es gerade ist) lang, oder der lichte Durchmesser klein, so sehen wir nichts, es kann also nicht mehr beurteilt werden, ob Energie reflektiert wird.

Die Scheinwiderstände einer Leitung endlicher Länge sind nun für zwei Grenzfälle des Abschlusses von besonderer Bedeutung. Es sind dies die am fernen Ende offene und die kurzgeschlossene Leitung. Aus den dabei gemessenen Eingangsscheinwiderständen,

für Leerlauf W_o und für Kurzschluss W_c, besteht folgende Beziehung zum Wellenwiderstand, die auch allgemein für Vierpole gilt:

$$Z_w = \sqrt{W_o \cdot W_c} \quad \text{Ohm}$$

Unter Vernachlässigung der Phasendrehung lässt sich dies wie folgt vorstellen (Figur 2). Bei kurzer Leitung entspricht die Leerlaufimpedanz der Schlaufenkapazität, die Kurzschlussimpedanz dem Schlaufenwiderstand. Mit der Länge der Leitung wächst auch die Dämpfung, und desto mehr nähern sich die beiden Impedanzen ihrem geometrischen Mittelwert, dem Wellenwiderstand.

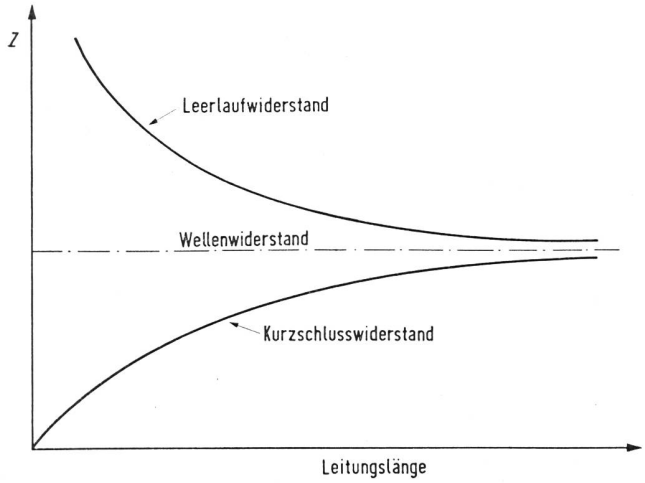

Fig. 2. Vereinfachte Darstellung des Verhaltens von Leerlauf- und Kurzschlusswiderstand einer Leitung in Funktion der Länge

Die Frequenzabhängigkeit der Impedanz

In der Einleitung wurde dargelegt, dass eine Impedanz meist frequenzabhängig ist. Wir betrachten zuerst einen Wellenwiderstand, dessen Grösse durch die Beziehung

$$Z_w = \sqrt{\frac{R' + j\,\omega\,L'}{G' + j\,\omega\,C'}}$$

gegeben ist.

Je nach den Verhältnissen von $R' : \omega L'$ und $G' : \omega C'$ ist der Wellenwiderstand rein ohmisch, induktiv oder kapazitiv. Die Impedanz wird reell für das Verhältnis

$$\frac{R'}{\omega\,L'} = \frac{G'}{\omega\,C'}$$

$$R' \cdot C' = G' \cdot L'$$

Dabei ist in Betracht zu ziehen, dass weder R noch G konstante Grössen sind, sondern mit zunehmender Frequenz ebenfalls ansteigen. Im allgemeinen ist

$$R' \cdot C' > G' \cdot L'$$

Der Absolutwert der Impedanz nimmt mit zunehmender Frequenz ab, und der Winkel ist kapazitiv. Diese Betrachtung bezieht sich auf die Wellenimpedanz, die eine regelmässige Kurve beschreibt.

Der Eingangsscheinwiderstand einer inhomogenen Leitung wird beeinflusst durch die Reflexionen, die an den Stoßstellen auftreten. Denn durch die rückfliessende Energie wird die Eingangsimpedanz scheinbar erhöht oder erniedrigt, je nach Phasenlage der zurückgeworfenen Welle. Der interessanteste und einfachste Fall ist nur eine markante Stoßstelle am Ende einer Leitung. Der Eingangsscheinwiderstand W_1 wird dann

$$W_1 = Z_w \cdot \frac{1 + r \cdot e^{-2\gamma l}}{1 - r \cdot e^{-2\gamma l}} \quad \text{Ohm}$$

Es bedeuten r = Reflexionskoeffizient $= \dfrac{Z_2 - Z_w}{Z_2 + Z_w}$

Z_2 = Abschlussimpedanz

γ = Uebertragungsbelag

l = Leitungslänge

Angenommen, eine solche Leitung habe beispielsweise eine Impedanzkurve nach Figur 3. Die Impedanzmaxima ergeben sich durch das Eintreffen von reflektierten Stromwellen in oppositioneller Phasenlage zum abgehenden Strom. Die Leitung nimmt im gesamten weniger Strom auf, und die Impedanz ist scheinbar höher. Das Umgekehrte ist der Fall bei den Impedanzminima. Der rücklaufende Strom kommt für die betreffende Frequenz, bezogen auf den Sender, in gleicher Phasenlage an. Dies wirkt sich als zusätzliche Stromaufnahme aus, und die Impedanzkurve zeigt hier ein Minimum. Zwischen den Maxima und Minima schneidet die wellige Impedanzkurve die Kurve des Wellenwiderstandes. An diesen Punkten ist folgende Beziehung erfüllt:

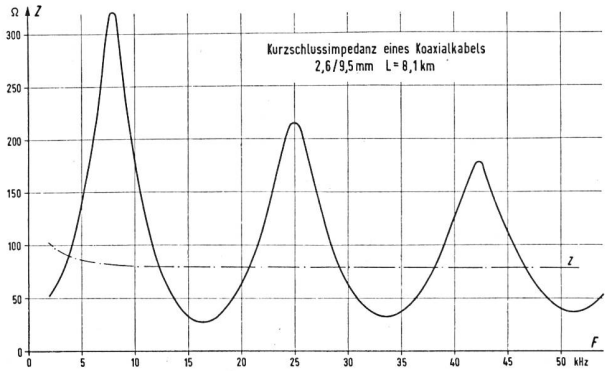

Fig. 3. Kurzschlussimpedanz eines Koaxialkabels (Verstärkerfeld) in Funktion der Frequenz

$$Z_1 = Z_w = Z_w \cdot \frac{1 + r \cdot e^{-2\gamma}}{1 - r \cdot e^{-2\gamma l}}$$

$$1 - r \cdot e^{-2\gamma l} = 1 + r \cdot e^{-2\gamma l}$$

$$0 = 2 \cdot r \cdot e^{-2\gamma l}$$

Dieser Ausdruck kann Null werden, wenn $r = 0$ oder $e^{-2\gamma l} = 0$ betragen. Die erste Bedingung kann nicht erfüllt sein, denn sonst würde keine Stoßstelle vorliegen, und die Impedanzkurve hätte einen glatten

Verlauf. Also untersuchen wir weiter die Exponentialfunktion:

$$e^{-2\gamma l} = e^{-2(\alpha + j\beta)l}$$

$$= e^{-2\alpha l} \cdot e^{-2j\beta l} \qquad \alpha = \text{Dämpfungsbelag}$$
$$\beta = \text{Phasenbelag}$$

Dem Exponenten $2\,\alpha\,l$ entspricht die zweifache Leitungsdämpfung, die Reflexionen werden also zweifach gedämpft. Aber auch dieser erste Faktor kann nur 0 werden, wenn $2\,\alpha\,l \to \infty$, das heisst die Dämpfung sehr gross ist. Es bleibt noch

$$e^{-2j\beta l} = \cos 2\beta l - j \sin 2\beta l$$

Ziehen wir nur den reellen Anteil in Betracht, so wird $\cos 2\beta l = 0$ für den Fall, dass $2\beta l = \frac{\pi}{2}; \frac{3\pi}{2}; \frac{5\pi}{2} \ldots$ beträgt. Mit Hilfe dieser Beziehung für die Schnittpunkte mit der idealen Kurve lässt sich eine sehr interessante Anwendung der Reflexionserscheinungen ableiten. Dadurch, dass zwischen zwei Maxima, Minima oder zwei einander folgenden gleichen Schnittpunkten der Wert für $2\beta l - 2\beta_1 l = 2\pi$ beträgt, lässt sich auch auf den Abstand zur Stoßstelle schliessen. Dazu muss β, das heisst der Phasenbelag, bekannt sein. Es wird dann

$$l = \frac{\pi}{\beta_2 - \beta_1}$$

Meistens wird aber nicht mit β gerechnet. Zwischen dem Phasenbelag und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit V_o besteht folgender Zusammenhang:

$$\beta = \frac{2\pi \cdot f}{V_o} \text{ und somit } \beta_2 - \beta_1 = \frac{2\pi}{V_o}(f_2 - f_1)$$

und damit wird der Abstand l zur Reflexionsstelle

$$l = \frac{V_o}{2\,(f_2 - f_1)}$$

Von der Möglichkeit, Impedanzstoßstellen auf diese Art einzugrenzen, wird heute weitgehend Gebrauch gemacht.

Die starke Beeinflussung des Eingangsscheinwiderstandes einer Leitung durch den Abschluss lehrt uns, dass die Messung einer Impedanz bei einer Frequenz zu Fehlschlüssen führen kann. Der Einfluss des Abschlusses verschwindet praktisch, wenn die Leitungsdämpfung 3 Neper erreicht.

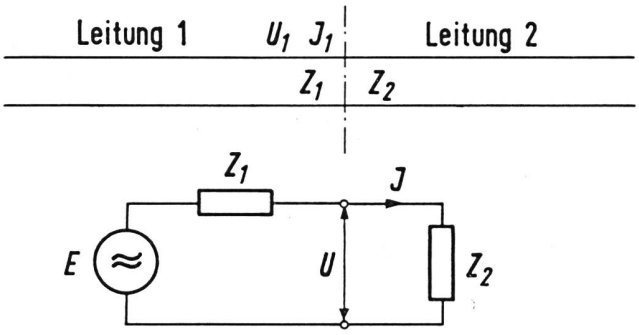

Fig. 4. Zusammenschaltung von zwei verschiedenartigen Leitungen und deren Ersatzschaltung.

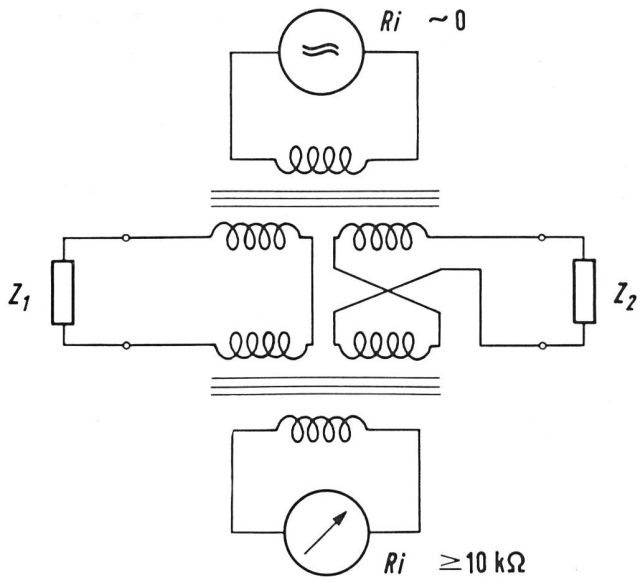

Fig. 5. Prinzipschema zur Messung der Fehlerdämpfung zwischen zwei Impedanzen

Der Reflexionskoeffizient

Im voranstehenden Abschnitt machten wir Bekanntschaft mit dem Reflexionskoeffizienten. Dieser entspricht dem Verhältnis vom reflektierten zu dem im Idealfall an einer Schaltstelle aufgenommenen Strom (Figur 4).

Wenn $Z_1 = Z_2$ (Idealfall), so ist

$$J_1 = \frac{E}{2Z_1} \qquad E = \text{elektromotorische Kraft an der Übergangsstelle}$$

Für den Fall, dass $Z_1 \neq Z_2$, wird

$$J_2 = \frac{E}{Z_1 + Z_2}, \text{ und daraus wird der reflektierte Strom}$$

$$\Delta J = J_1 - J_2$$
$$= \frac{E}{2Z_1} - \frac{E}{Z_1 + Z_2} = E \cdot \frac{Z_2 - Z_1}{2Z_1(Z_1 + Z_2)}$$

$$\frac{\Delta J}{J_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = r$$

Für den Reflexionskoeffizienten, bezogen auf die Spannungen, findet man auf ähnliche Weise

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = -\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Die beiden Reflexionskoeffizienten unterscheiden sich für den gleichen Fall nur durch das Vorzeichen. Interessant sind wiederum die zwei Extremfälle, die am Ende offene oder kurzgeschlossene Leitung. Für Leerlauf, wo $Z_2 = \infty$; wird für den Strom

$$r_i = \frac{\infty - Z_1}{\infty + Z_1} = 1, \text{ das heisst der gesamte Strom wird}$$

zurückgeworfen. Dementsprechend ist $r_u = -1$, die Spannung am Ende wird verdoppelt.

Im Kurzschlussfall ist $Z_2 = 0$ und es wird

$$r_i = \frac{0 - Z_1}{0 + Z_1} = -1$$

Nun wird der Strom verdoppelt, und dafür fällt die Spannung zusammen, sie wird total reflektiert.

Der natürliche Logarithmus aus dem Reflexionskoeffizienten wird als Rückfluss- oder Fehlerdämpfung bezeichnet. Fehler bezieht sich hier auf Fehlanpassung. Die Fehlerdämpfung einer Leitung wird ermittelt durch Vergleich mit einer Normalnachbildung, einem Netzwerk, dessen Impedanz dem mittleren Wellenwiderstand der Leitung entsprechen sollte. Die Messobjekte werden an eine Brücke angeschaltet (s. Figur 5), wobei am Ausgang die Fehlerdämpfung direkt ermittelt beziehungsweise abgelesen werden kann. Dabei ist zu bedenken, dass sich jede Stoßstelle in einer Leitung an den Enden doppelt gedämpft auswirkt. Die Phasendrehung der Leitung hat zudem zur Folge, dass sich die Reflexionen im günstigen und ungünstigen Sinn auswirken. Eine möglichst gute Fehlerdämpfung muss von jenen Leitungen gefordert werden, in welche Zweidrahtverstärker eingeschaltet werden. Die Gabelschaltung am Ein- und Ausgang des Verstärkers ermöglicht bei Fehlanpassung zwischen Kabel- und Nachbildung das Entstehen von Rückkopplungen, was sich als Schwingen oder Pfeifen unangenehm bemerkbar macht. Daher kommt auch Anwendung von Pfeifpunkt für den Ausdruck Fehlerdämpfung.

Wir wissen, dass Nebensprechen in den Telephonkabeln zwischen den verschiedenen Leitungen durch Kopplungen entstehen kann. Dabei entsteht sowohl Nah- als auch Fernnebensprechen. Unter Vierdrahtleitungen der gleichen Richtung wirkt sich nur das Fernnebensprechen, zwischen Leitungen entgegengesetzter Richtung das Nahnebensprechen aus. Infolge starker Reflexion kann aus einem Nahnebensprechen ein Fernnebensprechen (Figur 6) entstehen

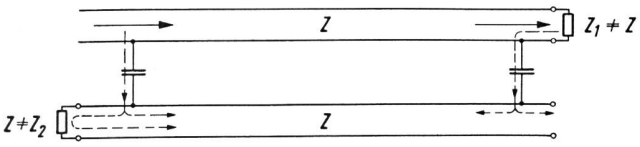

Fig. 6. Zusammenhänge zwischen Nah-Nebensprechen, Reflexionen und Fern-Nebensprechen

und umgekehrt. Damit sich das Fernnebensprechen besonders in Trägerkabeln durch Reflexionen nicht unnötig verschlechtere, müssen sowohl Eingang als Ausgang der Leitungsverstärker an die Kabelimpedanz angepasst sein.

Impedanz und Anpassungsverluste

Die Rückfluss- oder Fehlerdämpfung ist ein Mass für die reflektierte Energie an der Stoßstelle. Dieser Energieverlust wirkt sich aber auch als zusätzliche Dämpfung in der Übertragungsrichtung aus. Für den Fall, dass $Z_1 = Z_2$, ist die übertragene Leistung

$$P_1 = \frac{E^2}{4 \cdot Z_1} \quad \text{Watt}$$

Weichen die beiden Impedanzen voneinander ab, das heisst $Z_1 \neq Z_2$, so wird die abgegebene Leistung

$$P_2 = \left(\frac{E}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \cdot Z_2 \quad \text{Watt}$$

Der Wirkungsgrad an der Stoßstelle lässt sich somit wie folgt berechnen:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{E^2 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \cdot \frac{4 \cdot Z_1}{E^2}$$

Zwischen Wirkungsgrad und Dämpfung besteht folgende Beziehung:

$$A = ln \frac{1}{\sqrt{\eta}} = \frac{Z_1 + Z_2}{2 \cdot \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}}$$

Aus der Kurve Figur 7 findet man den Zusammenhang zwischen Impedanzverhältnis $Z_2 : Z_1$ und Dämpfung durch Fehlanpassung. Interessant dabei ist, dass die Impedanzen schon recht stark voneinander abweichen müssen, bis diese zusätzliche Dämpfung einen spürbaren Wert erreicht. Dies beruht auf der Tatsache, dass bei Fehlanpassung die Variationen des Stromes durch gegenläufige Bewegungen der Spannung zum Teil ausgeglichen werden, und daher die abgegebene Leistung nur langsam abnimmt.

Der Hauptgrund, warum Fehlanpassungen vermieden werden müssen, ist weniger die Vermeidung

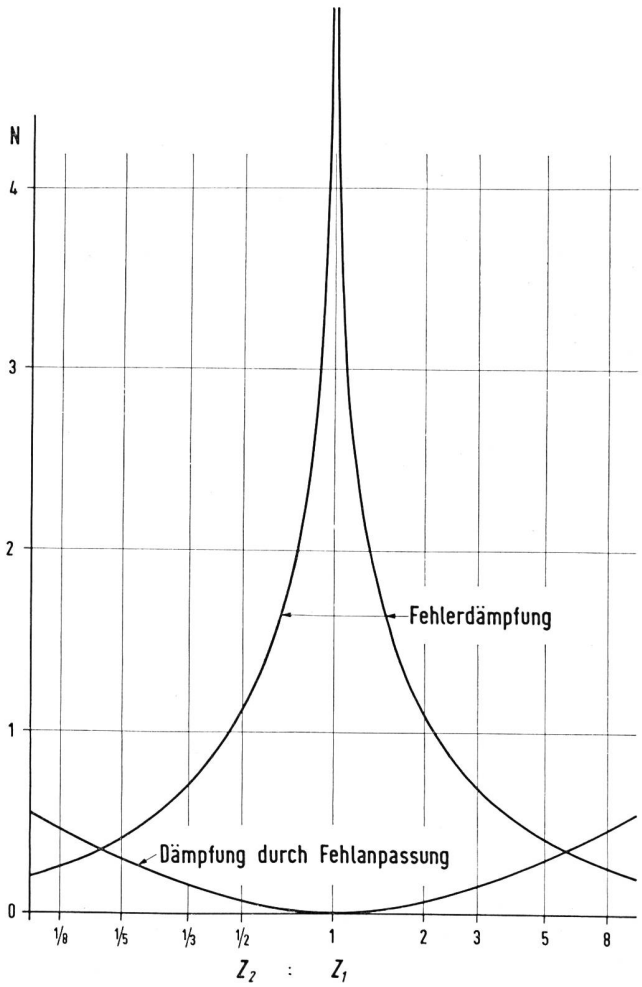

Fig. 7. Fehlerdämpfung und Verluste durch Fehlanpassung

von Reflexionsverlusten als die Erreichung einer guten Fehlerdämpfung, insbesondere bei pupinisierten, verstärkten Fernleitungen. Die Anpassung von zwei verschiedenen Leitungen erfolgt mit Hilfe von Übertragern.

Impedanz und Leitungsdämpfung

Zwischen der Leitungsimpedanz und den Leitungsverlusten bestehen interessante Beziehungen. Um diese zu erkennen, müssen die Formeln für beide etwas vereinfacht werden, und zwar so, wie sie für Leitungen mit erhöhter Induktivität oder für Trägerfrequenzen gültig sind:

$$Z \simeq \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{und} \quad \alpha \simeq \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\text{oder} \quad \alpha \simeq \frac{R}{2 \cdot Z} + \frac{G \cdot Z}{2}$$

Die Dämpfung besteht nun aus der Summe von zwei verschiedenen Gliedern. Im ersten Summanden finden wir den Widerstand, im zweiten die Ableitung. Der eine Anteil entspricht der Widerstandsdämpfung oder den Längsverlusten, der andere der Ableitungsdämpfung oder den Querverlusten. Aber Widerstand und Ableitung sind nicht allein massgebend; in beiden Ausdrücken ist noch die Impedanz enthalten, einmal im Nenner, das andere Mal im Zähler. Während die Widerstandsverluste mit höherer Impedanz geringer sind, verhält es sich mit den Ableitungsverlusten gerade umgekehrt. Erinnern wir uns daran, dass die Impedanz das Verhältnis von Spannung zu Strom ist. Bei gleicher Übertragungsleistung ist der Strom bei hoher Impedanz geringer, somit wird auch die Widerstandsdämpfung niedriger ausfallen. Umgekehrt sollte nun die Ableitungsdämpfung bei hoher Impedanz und entsprechend grösserer Spannung stärker ins Gewicht fallen. Die Ableitungsverluste können jedoch dank der Verwendung von einem guten Dielektrikum niedrig gehalten werden und sind für Niederfrequenz sogar fast vernachlässigbar.

Die künstliche Erhöhung der Impedanzen von Kabeladern erfolgt durch die Pupinisierung.

Die Grösse der Impedanz

Während die Impedanz eines einfachen Zweipols beliebig gewählt werden kann, sind den Impedanzen von Leitungen Grenzen gesetzt. Einesteils hängt der Widerstand vom Kupferquerschnitt ab und wird somit eine Preisfrage, anderenteils sind Induktivität und Kapazität durch den Aderabstand der Schlaufe gegeben. Wird der Abstand grösser, so erhöht sich die Induktivität, während die Kapazität kleiner wird. Auf die Impedanz bezogen, will dies heissen, dass Schlaufen mit grossem Aderabstand und kleinem Aderdurchmesser eine hohe Impedanz aufweisen. Wenn auch die Luft und das verwendete Isolierpapier billig sind, so bilden diese in einem Bleimantel doch einen wesentlichen Kostenfaktor. Heute besitzen die Papierluftraumkabel für Niederfrequenzübertragung eine Kapazität der Stammstromkreise von 34–39 nF/km, wobei die höhere Kapazität mit den dickeren Aderdurchmessern parallel geht. Diese Werte haben sich in der Praxis der Kabelfabrikation als die günstigsten erwiesen. Die Induktivität, die mit der Kapazität annähernd umgekehrt proportional verläuft, beträgt 0,6–0,7 mH/km. Ihr Anteil am Wellenwiderstand bei Niederfrequenz ist gering. Das wesentliche frequenzabhängige Glied im Ausdruck $Z_w = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$ ist $j\omega C$. Der Frequenzgang der Impedanz einer unbelasteten Leitung hat den in Figur 8 aufgezeichneten Verlauf. Obwohl Niederfrequenzleitungen je nach Frequenz, Aderdurchmesser und Kapazität eine andere Impedanz aufweisen,

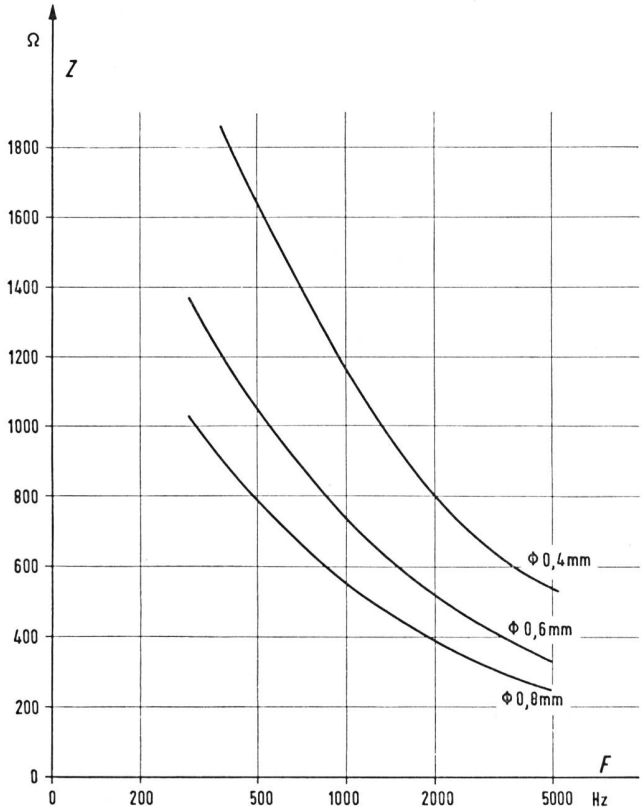

Fig. 8. Impedanzkurven von Teilnehmerkabeln

wurde für die unpupinisierte Stammleitung eine nominelle Impedanz von 600 Ohm für die Frequenz 800 Hz angenommen. Dementsprechend ist diese Impedanz auch für Zentralen und Teilnehmerstationen anzustreben, wenn nicht zu starke Reflexionen auftreten sollen. Im Frequenzgebiet der Trägerströme nähert sich die Impedanz von Kabeladerpaaren dem Wert von 120–150 Ohm. Für die eigentlichen Trägerkabel, bei denen zur Dämpfungsreduktion die Kapazität auf 28 nF/km angesetzt wurde, erreicht die Impedanz Werte von 165–175 Ohm. Interessant ist dabei, dass die Impedanzen trotz steigender Frequenz nicht mehr abfallen, sondern eher konstant bleiben. Dies rührt daher, dass sämtliche Anteile in der Formel der Impedanz nun mit der Frequenz ansteigen. Der Widerstand steigt in-

folge der Stromverdrängung an, und die Ableitung wird grösser wegen der zunehmenden Verluste im Dielektrikum. Die nominelle Impedanz von Trägerleitungen wurde mit 150 Ohm festgelegt. Wo die Leitung eine abweichende Impedanz besitzt, wird die Anpassung mit einem Leitungsübertrager vorgenommen.

Die Impedanz der Koaxialkabel ist noch niedriger. Für die zu übertragenden hohen Frequenzen errechnet sich die Impedanz nach $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$. Nun sind aber sowohl die Induktivität als auch die Kapazität durch das Durchmesserverhältnis von Aussen- zu Innenleiter gegeben. Die Impedanz einer Koaxialleitung wird dadurch $Z = \frac{60}{\sqrt{k}} \cdot \ln \frac{D}{d}$ k = effektive Dielektrizitätskonstante. Durch die Wahl des Verhältnisses $D:d$ hätte man es also in der Hand, die Impedanz beliebig zu wählen. Für die Übertragung auf grössere Distanz ist jedoch die Dämpfung massgebend. Diese wird am günstigsten für das Verhältnis $D:d = 3{,}6$. Damit ist, abgesehen von der Wahl des Isoliermaterials, die Grösse der Impedanz festgelegt. Der normalisierte Nennwert für Koaxialkabel beträgt 75 Ohm.

Die Homogenität ist bei keinem Kabeltyp so wichtig wie beim Koaxialkabel. Dieses dient zur Übertragung von Trägersystemen mit hohen Kanalzahlen (bei den heutigen Systemen 960 und 1260 Kanäle) und für das Fernsehen. Folgen sich nun in einer Leitung zwei markante Stoßstellen, so läuft die zum zweiten Mal reflektierte Energie wieder in der gewollten Richtung (Figur 9). Durch den Umweg ist

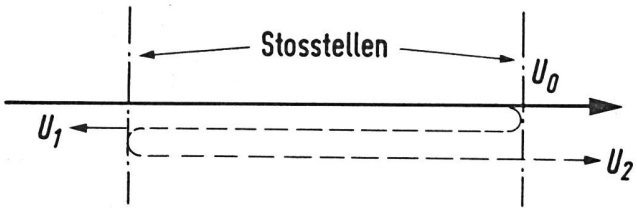

Fig. 9. Leitung mit doppelter Reflexion

sie aber gegenüber der Originalwelle in zeitlichen Rückstand gekommen. In der Telephonie wirken sich nun diese doppelten Reflexionen als zusätzliches Geräusch, im Fernsehen als Nachflimmern oder Zieheffekt aus.

In der Einleitung wurde ausgeführt, dass die Impedanz ein Hindernis oder Hemmnis bedeute. Wie wir gesehen haben, ist sie in der Leitung keines von beiden, bestimmt aber bei gegebener Spannung am Leitungsanfang den aufgenommenen Strom. Da die Impedanz den Charakter einer Leitung darstellt, so braucht es zur reibungslosen Zusammenschaltung zweier Systeme gleiche Impedanzen.

A. BRATSCHI, Bern

Neuerungen im TT-Motorfahrzeugpark

629.113:654

Zusammenfassung. *Im Jahre 1955 erschien in den Technischen Mitteilungen PTT ein Beitrag, betitelt: Das Motorfahrzeug im Bau- und Unterhaltsdienst der Telephonverwaltung.* Seither haben die Aufgaben für den Personal- und Materialtransport in den verschiedenen TTRF-Diensten sowohl umfangmässig als auch in der Art der auftretenden Transportprobleme stark zugenommen. Es wird stets darnach getrachtet, die Fahrzeuge mit ihren Ausrüstungen den Dienstverrichtungen, für die sie eingesetzt werden, anzupassen. Dieser Umstand führt vom All- oder Mehrzweck-Fahrzeug zum Spezialwagen. Derartige Fahrzeuge dürfen jedoch nur da eingeführt werden, wo sie wirtschaftlich ausgenützt werden können, das heisst, wo die Ausübung einer bestimmten Dienstverrichtung mit dem hiefür besonders eingerichteten Fahrzeug besser und rascher erfolgen kann als bei der Verwendung eines üblichen Kasten- oder gewöhnlichen Lastwagens. Zudem müssen diese besonderen Dienstverrichtungen so häufig auftreten, dass sich der Einsatz eines Motorfahrzeuges lohnt. So sind denn seit dem Erscheinen des vorangehend genannten Beitrages einige neue Fahrzeugtypen geschaffen und eingeführt worden. Der Hauptzweck dieser Neuerungen ist der rationelle Einsatz des Personals. Im nachstehenden Artikel werden die wesentlichen Neuerungen kurz beschrieben.*

Résumé. *Le Bulletin technique PTT a publié en 1955 un article intitulé «Le véhicule à moteur dans le service de construction et d'entretien de l'administration des téléphones» . Depuis lors, les tâches imposées aux organismes de transport de personnel et de matériel dans les différents services des TT se sont accrues et de nouveaux problèmes de transport ont dû être résolus. On veille constamment à adapter les véhicules et leurs équipements au travail qu'ils doivent fournir. Aussi le véhicule propre à tous les emplois est-il peu à peu remplacé par le véhicule spécialisé. Pareils véhicules ne sont cependant remis qu'aux services où ils seront employés de manière économique, c'est-à-dire où ils exécuteront le travail pour lequel ils sont construits mieux et plus rapidement qu'une camionnette ou un camion ordinaires. En outre, ces travaux doivent être assez fréquents pour que l'emploi d'un tel véhicule soit économique. Depuis que l'article précité a paru, quelques nouveaux types de véhicules ont été construits et mis en service. Ces nouveautés ont pour but principal de permettre d'occuper rationnellement le personnel. L'article qui suit les décrit succinctement.*

Die mobile Spleissergruppe

Es gibt im Baudienst auf den Baustellen viele Arbeitsverrichtungen, bei denen die Spleissergruppen nur kurzfristig zu arbeiten haben und wo auch nur wenig Material verwendet wird. Dies ist der Fall bei kleinen Spleissungen, Einschaltung von 1 oder 2 Kabelkasten, Abänderungen von Überführungen, kleineren Reparaturen usw. Für die Erledigung solcher Arbeiten ist die mobile Spleissergruppe geschaffen worden.

Ein Volkswagen(VW)-Kastenwagen ist in seinem Innern so eingerichtet, dass das gesamte Werkzeug

* Vgl. *Arthur Bratschi.* Das Motorfahrzeug im Bau- und Unterhaltsdienst der Telephonverwaltung. Techn. Mitt." PTT 1955, Nr. 6, S. 230...243.