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: 39 (1961)

Heft: 9

Artikel: Untersuchungen an Hohlleiter-Dämpfungsglieder und -Abschlusswiderständen mit gekrümmten Widerstandsschichten

Autor: Stäger, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875257

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: 09.12.2025

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

Nº 9 - BERN, IX. 1961 - JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXXIX

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

Chr. Stäger, Bern

621.372.852.3
621.372.855.4

Untersuchungen an Hohlleiter-Dämpfungsgliedern und -Abschlusswiderständen mit gekrümmten Widerstandsschichten

Zusammenfassung. *Die bis heute bekannten Hohlleiterschichtattenuatoren können in zwei Gruppen eingeteilt werden. In der ersten wird die Schicht in einem runden Hohlleiter gedreht, in der zweiten wird die Schicht, die parallel zur elektrischen Feldrichtung liegt, senkrecht dazu im Hohlleiter verschoben. Beide Arten weisen in den bekannten Ausführungsformen als hauptsächlichsten Nachteil grosse Endreflexionen auf.*

Es wird eine zur zweiten Gruppe gehörende Anordnung beschrieben, die dank ihrer besonderen Lage und Formgebung im Hohlleiter bei kleinen Reflexionen gute Breitbandigkeit aufweist.

Eine auf elastischem Träger aufgebrachte Widerstandsschicht wird an ihren Enden gegen die eine Hohlleiterschmalseite gehalten und in ihrer Mitte mehr oder weniger in den Hohlleiter eingedrückt. Das gleiche Bauprinzip kann, mit einigen Änderungen, für den Bau von präzisen Hohlleiter-Abschlusswiderständen verwendet werden. Messungen an solchen Attenuatoren und Abschlusswiderständen zeigen die Einflüsse des Flächenwiderstandswertes, der Schichtform und der Eintauchtiefe in den Hohlleiter auf die Dämpfung, den Phasenverlauf und die Reflexion. Nach der Funktionsbeschreibung eines variablen Attenuators werden für diesen und für Abschlusswiderstände Spezifikationen angegeben. Photos zeigen die Einfachheit und die Kleinheit der beschriebenen Konstruktion.

1. Allgemeines

In der Mikrowellentechnik werden häufig Komponenten benötigt, die im Zuge einer Leitung elektrische Energie um bestimmte Beträge abschwächen oder ganz absorbieren.

Sie heissen im ersten Fall Dämpfungsglieder, im zweiten Abschlusswiderstände.

Gute Abschlusswiderstände sollen *die ganze* in der Leitung vom Sender her fliessende Leistung absorbieren, das heisst sie sollen als reflexionsfreie Verbraucher wirken. Das gleiche verlangt man von den Dämpfungsgliedern, aber dazu noch, dass sie einen bestimmten Bruchteil der ankommenden Leistung in Richtung des Empfängers weiterschicken.

Bei Hohlleiteranwendungen stellt man an solche Komponenten im allgemeinen folgende Forderungen:

a) Dämpfungsglieder sollen einen Dämpfungsverlauf haben, der sich über den gesamten Frequenzbereich des verwendeten Hohlleiters möglichst wenig ändert.
b) Dämpfungsglieder und Abschlusswiderstände sollen möglichst reflexionsfrei sein.
c) Der Aufbau muss einfach und billig, die Baulänge klein sein.
d) Für variable Dämpfungsglieder wird eine bequeme Einstell- und Ablesbarkeit gewünscht.

Mit den bisherigen Bauformen lassen sich die vorstehend aufgeführten Forderungen nicht alle gleichzeitig erfüllen. Am auffallendsten sind wohl bei allen handelsüblichen Dämpfungsgliedern die grossen Reflexionen, die meistens zwischen 5 und 20% betragen. Preiswerte Abschlusswiderstände mit sehr kleinen Reflexionen, z. B. $r \leq 0{,}3\%$ über grosse Bandbreiten, sind nicht erhältlich. Bei vielen Dämpfungsgliedern ist die Dämpfung frequenzabhängig. Die gebräuchlichen variablen Dämpfungsglieder benötigen zudem für die Ablesung des eingestellten Dämpfungswertes entweder Eichkurven oder besondere, nicht linear verlaufende Skalen.

2. Ausführungsarten für Dämpfungsglieder

Sieht man von Ferritanwendungen ab, gibt es grundsätzlich zwei bekannte Arten von Dämpfungsgliedern:

a) solche, bei denen das absorbierende Element ein verlustbehaftetes Dielektrikum ist, und
b) andere, bei denen eine dünne, meist ebene Widerstandsschicht absorbierend wirkt.

Für variable Dämpfungsglieder wird meistens das Schichtprinzip angewendet, wobei die Schicht im Hohlleiter gedreht oder verschoben wird. *Steinhart* [1] beschreibt einen Attenuator, dessen Schicht im Hohlleiter gedreht wird. Dämpfungsglieder, bei denen die Schicht oder die Schichten im Hohlleiter verschoben werden, sind z. B. von *Weber* und *Griesheimer* [2] angegeben worden. Eine neue Ausführungsform, die nachstehend beschrieben wird, weist gegenüber den beiden erwähnten Formen einige Vorteile auf, die später diskutiert werden sollen.

3. Ausführungsarten für Abschlusswiderstände

Bei den Abschlusswiderständen gibt es ebenfalls zwei Hauptarten:
a) mit verlustbehafteten Dielektriken,
b) mit dünnen Widerstandsschichten im Hohlleiter.

Auch hier wurden bei billiger Bauweise mit einer neuartigen Anordnung der Schicht im Hohlleiter in bezug auf minimale Reflexion gute Resultate erzielt.

4. Der Schichtattenuator mit flexiblem Widerstandsträger

Wird eine zur Hohlleiterachse parallele Widerstandsschicht mit der Breite c *(Fig. 1)* quer zur Längsachse im Hohlleiter verschoben, so ändert sich die Dämpfung und der Dämpfungsverlauf in Funktion der Frequenz wie in *Figur 2*.

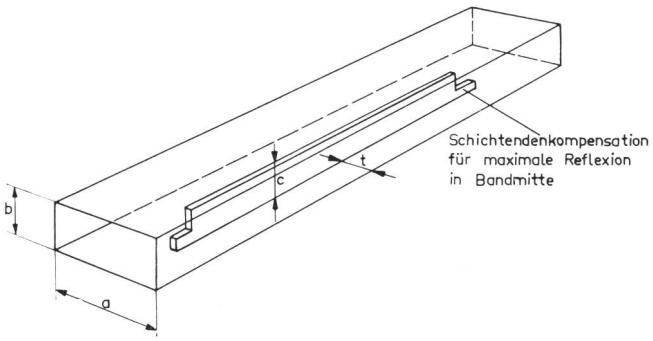

Fig. 1. Die gerade Widerstandsschicht im Hohlleiter

Für einen bestimmten, spezifischen Flächenwiderstand und Schichtbreite c besteht *nur eine* Eintauchtiefe t_0, bei welcher der Dämpfungsverlauf frequenzunabhängig ist. Es ist daher leicht einzusehen, dass mit einer solchen Anordnung kein frequenzunabhängig arbeitender variabler Attenuator realisierbar ist. Die meisten handelsüblichen Attenuatoren dieser Bauart sind denn auch entweder nur über einen beschränkten Frequenzbereich genügend genau oder müssen mit Eichkurvenscharen eingestellt werden. Zusätzlich treten noch Schwierigkeiten wegen der Schichtenendenreflexionen auf. Die Enden müssen so ausgebildet sein, dass sich möglichst

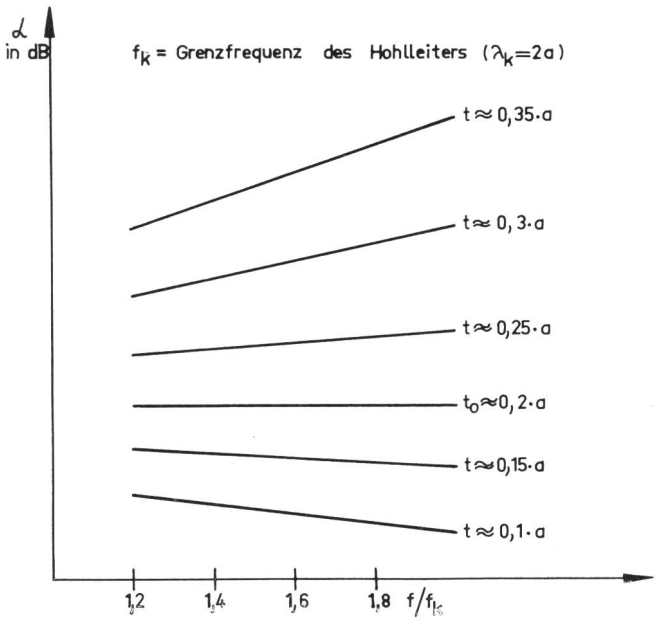

Fig. 2. Prinzipieller Dämpfungsverlauf einer geraden Widerstandsschicht im Hohlleiter (Fig. 1) mit kompensierten Schichtenden, mit der Eintauchtiefe t als Parameter

wenig Reflexionen bilden können. Bei den verhältnismässig kurzen Baulängen ist das nur für eine beschränkte Frequenzbandbreite wirksam möglich. Diese Schwierigkeiten können umgangen werden, wenn statt einer geraden eine biegsame Widerstandsschicht verwendet wird, die, wie in *Figur 3* zu sehen ist, in den Hohlleiter eintaucht. Mit dieser Anordnung gewinnt man hauptsächlich zwei Vorteile:

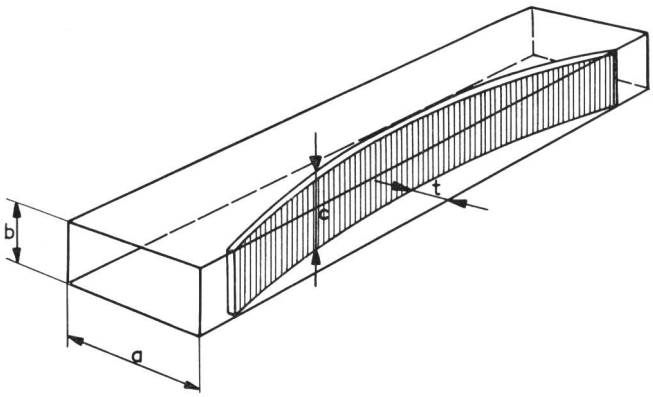

Fig. 3. Die gekrümmte Widerstandsschicht im Hohlleiter

a) Durch die gekrümmte Form der Widerstandsschicht im Hohlleiter wird die Eintauchtiefe t_0 für frequenzunabhängigen Dämpfungsverlauf über einen grösseren Bereich frequenzunabhängig. Aus *Figur 4*, Position 1, ist ersichtlich, wie diese Frequenzgangkomposition zustande kommt. Die mittlere Eintauchtiefe t_0 stellt die Trennlinie zwischen steigender und fallender Dämpfungscharakteristik dar. Solange sich der Mittelteil der Widerstandsschicht im Gebiet der steigenden Dämpfungscharakteristik (links von t_0) befindet, ergibt sich, mit den fallenden Dämpfungsverläufen

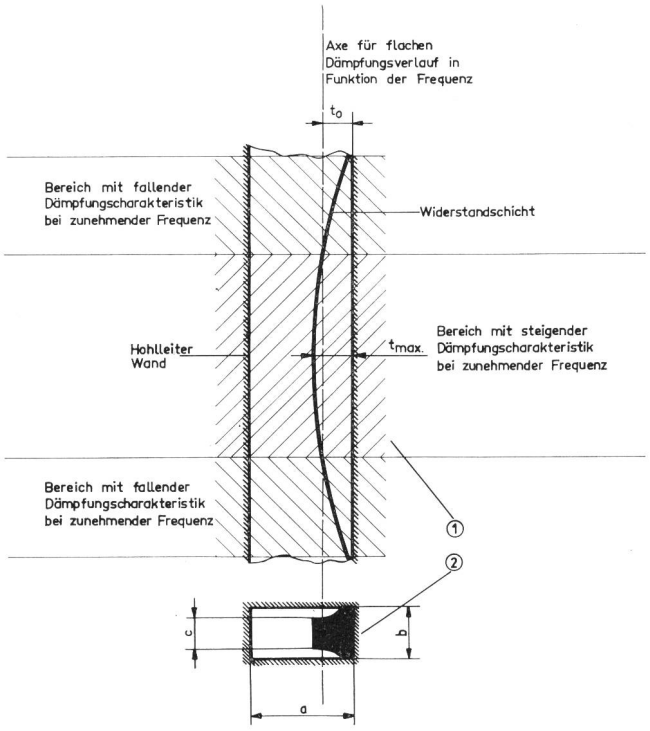

Fig. 4. Die gekrümmte Widerstandsschicht im Hohlleiter

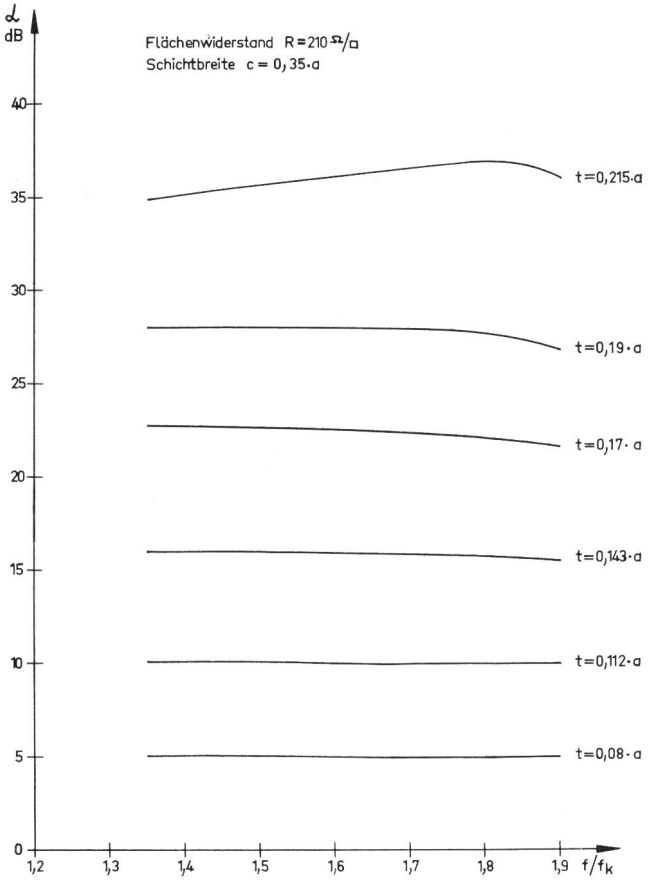

Fig. 5. Dämpfungsverlauf einer gekrümmten Widerstandsschicht im Hohlleiter mit Eintauchtiefe t als Parameter. Die Schichtbreite c ist konstant

der Schichtenden zusammen, eine mehr oder weniger vollkommene Frequenzgangkompensation der Dämpfung.

b) Die Beeinflussung des Feldes durch die Widerstandsschicht geschieht wegen deren Krümmung so allmählich, dass nur kleine Reflexionen entstehen.

Der mechanische Aufbau ist einfach. Die Widerstandsschicht wird an ihren Enden durch Nylonführungsbolzen an die Hohlleiterwand gehalten und in der Mitte mit einem Nylonstift in den Hohlleiter gedrückt. Da für den Krümmungsverlauf die elastische Deformation des Widerstandsträgers (Fiberglas) ausgenützt wird, ist nicht anzunehmen, dass die unter a) erwähnte Kompensation des Dämpfungsverlaufes optimal sein wird. *Figur 5* zeigt die mit dieser Anordnung etwa erreichbare Genauigkeit des Frequenzganges.

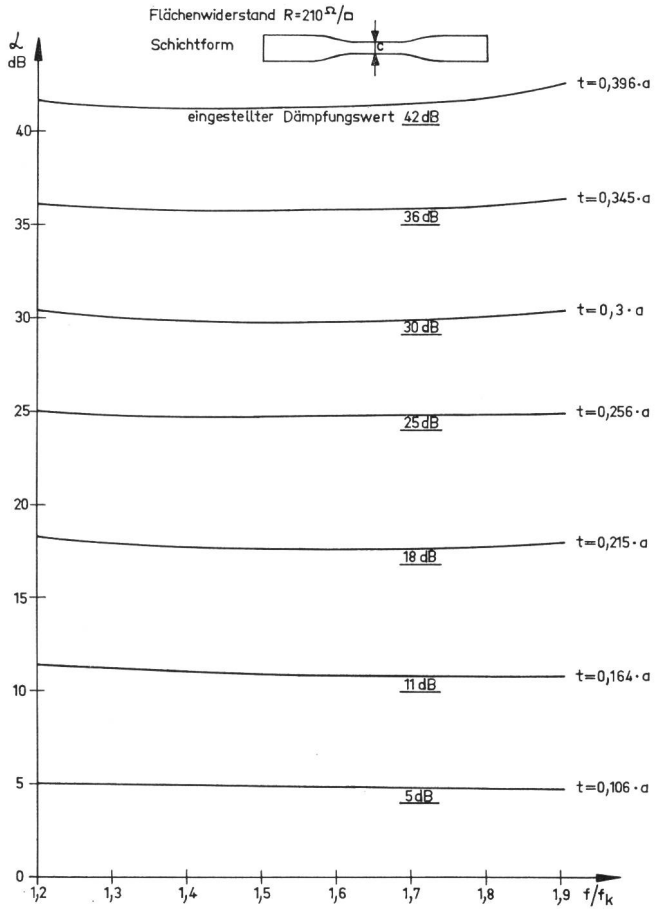

Fig. 6. Dämpfungsverlauf einer gekrümmten Widerstandsschicht im Hohlleiter mit Eintauchtiefe t als Parameter. Die Schichtbreite c beträgt in der Mitte 0,3·a

Eine weitere Verbesserung des Dämpfungsverlaufes in Funktion der Frequenz kann nun dadurch erreicht werden, dass man die Schichtbreite c längs der Widerstandsschicht geeignet variiert (in Fig. 4, Position 2 angedeutet). Damit gleitet die Achse t_0 gleichsinnig mit der maximalen Eintauchtiefe t_{max}. Als Folge bleibt die unter a) beschriebene Frequenzgangkompensation für alle Eintauchtiefen $0 \leq t_{max} \leq a/2$ erhalten. *Figur 6* zeigt, dass mit der skizzierten

Schichtform die Unregelmässigkeit des Dämpfungsverlaufes innerhalb $\pm 2\%$ der eingestellten Dämpfung (für $\alpha > 15$ dB) bleibt, was als Grenze des erreichbaren für Präzisionsattenuatoren gelten kann.

4.1. *Bemerkungen.* In der Literatur findet man Angaben für die Berechnung der Dämpfung von Widerstandsschichten im Hohlleiter von *Buseck* und *Klages* [3] und *Papadopoulos* [4].

Doch schon der einfache Fall des Dämpfungsverlaufes einer ebenen Widerstandsschicht im Hohlleiter in Funktion des Flächenwiderstandes, der Schichtbreite und des Abstandes von der Hohlleiterwand wurde bis heute nur experimentell untersucht.

Bei der Anordnung mit gekrümmter Schicht und teilweise reduzierter Schichtbreite wird eine Berechnung des Dämpfungsverlaufes noch wesentlich komplizierter, so dass im Rahmen dieser Ausführungen auf die theoretischen Zusammenhänge einzugehen verzichtet wird.

5. Der Hohlleiter-Abschlusswiderstand mit gekrümmter Widerstandsschicht

Die Bauform ist im Prinzip ähnlich wie beim Attenuator, man benutzt aber gewissermassen nur dessen Hälfte, weil der Abschluss einen Zweipol darstellt *(Figur 7)*. Zur Verhinderung von Energieaustritt hinter dem Abschlusswiderstand wird bei A ein Kurzschluss angebracht. Dieser bewirkt Totalreflexion der Restenergie bei A. Wenn die Schichtdämpfung $\alpha \geq 30$ dB gewählt wird, beträgt der am Eingang des Abschlusses von A herrührende Reflexionsanteil $r \leq 0{,}1\%$ was praktisch kaum mehr nachweisbar ist.

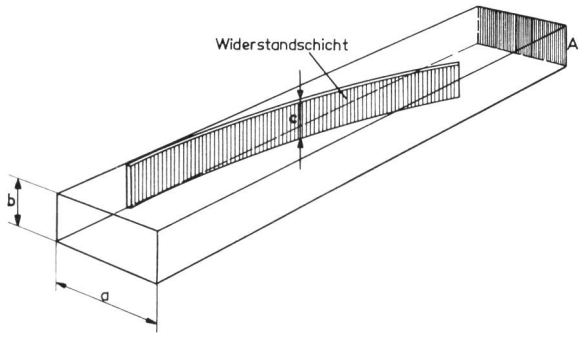

Fig. 7. Die gekrümmte Widerstandsschicht im Hohlleiter, als Abschlusswiderstand geschaltet

Die Form der gekrümmten Schicht beeinflusst die Reflexion wenig. Die Krümmung wird, wie beim Attenuator, durch die natürliche elastische Deformation der vorgespannten Schicht gebildet.

Es lassen sich, bei einfachem und robustem Aufbau, mit Leichtigkeit Reflexionen $r \leq 0{,}3\%$ über den gesamten Hohlleiterbereich erreichen.

6. Messungen an Attenuatoren mit gekrümmter Widerstandsschicht

6.1. Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse beziehen sich auf Messungen im Frequenzgebiet von 5,8...8,2 GHz und dem Hohlleitertyp R 70 (WR 137)

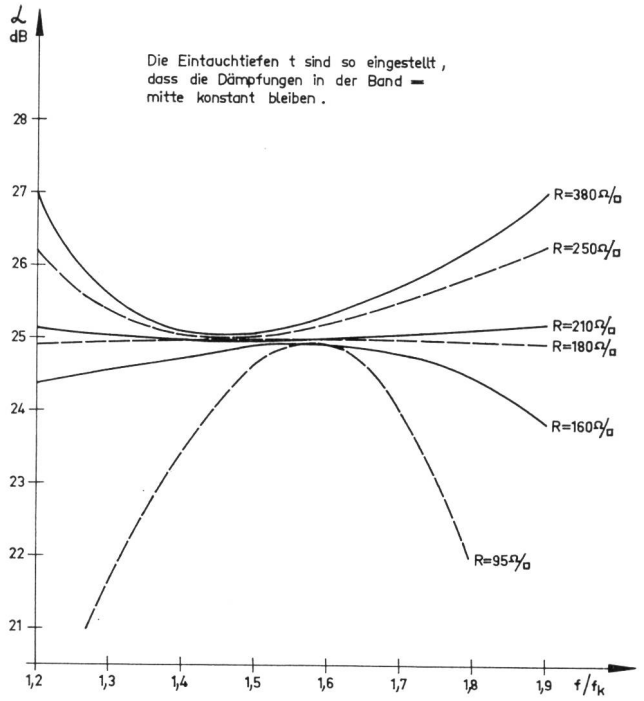

Fig. 8. Dämpfungsverläufe von Schichten mit verschiedenen Flächenwiderständen und optimalen Schichtformen

mit den Innenmassen a = 34,85, b = 15,80 mm, gelten aber sinngemäss, wie Vergleichsmessungen zeigten, auch bei andern Frequenzen und Hohlleitern mit gleichem Wellentyp ($TE_{1,0}$).

6.2. *Einfluss des Flächenwiderstandes R auf den Dämpfungsverlauf in Funktion der Frequenz.* In *Figur 8* sind die Dämpfungsverläufe von Widerstandsschichten gleicher Länge aber verschiedener Dicke dargestellt. Die Schichtbreiten sind, der einfacheren Beurteilung wegen, so gewählt, dass an den beiden Frequenzgrenzen ungefähr gleiche Dämpfungs-

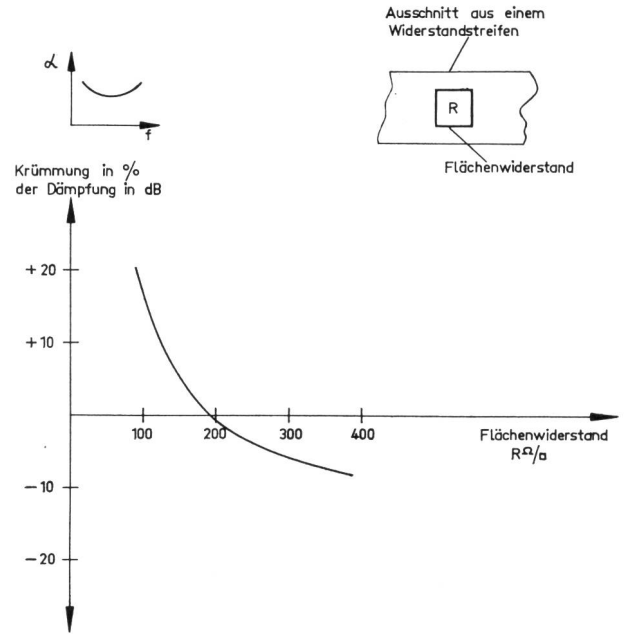

Fig. 9. Krümmung des Dämpfungsverlaufes in Funktion des Flächenwiderstandes bei optimaler Schichtform

werte auftreten. Die Eintauchtiefe t_{max} wurde für jede Schicht auf den gleichen Durchgangsdämpfungswert eingestellt.

Figur 9 zeigt die bei verschiedenen Flächenwiderständen auftretenden Krümmungen des Dämpfungsverlaufes in Abhängigkeit der Frequenz, als Funktion des Flächenwiderstandes aufgetragen. Im allgemeinen interessiert uns der frequenzflache Dämpfungsverlauf. Wenn beispielsweise eine positive oder negative Krümmung von 2% der eingestellten Dämpfung zulässig sein soll, dürfen Widerstandschichten mit einer Widerstandstoleranz von $200 \pm 20\ \Omega/\square$ verwendet werden.

6.3. *Einfluss der Schichtbreite c, beziehungsweise der Schichtform auf den Dämpfungsverlauf.* Bei Verwendung des optimalen Flächenwiderstandswertes nach 6.2 gibt es zwei Möglichkeiten zur Verwirklichung eines frequenzflachen Dämpfungsverlaufes:

a) Man reduziert die Schichtbreite c durch Abkratzen oder Abfräsen der Widerstandsschicht. In *Figur 10* ist der Dämpfungsverlauf in Funktion der Frequenz mit c als Parameter aufgetragen, daraus ergibt sich *Figur 11* als Steigung der Dämpfung in Funktion der Schichtbreite c.

Die Eintauchtiefen t_{max} sind so gewählt, dass die Bandmittendämpfungen für alle Schichtbreiten c gleich gross bleiben. Diese Schichtform ist insofern nachteilig, als der Dämpfungsverlauf bei einem gewählten c nicht für alle Eintauchtiefen $0 < t_{max} \leq a/2$ frequenzflach wird (s. Fig. 5). Zudem muss die Schichtbreite c sehr genau bestimmt und eingehalten werden. Für eine positive oder negative Steigung des Frequenzganges von 2% der eingestellten Dämpfung darf zum Beispiel die Schichtbreite c nicht mehr als ± 0,1 mm vom Sollwert 11,85 mm abweichen.

b) Die Schichtbreite c wird, wie in Abschnitt 4 angedeutet, längs dem Streifen variiert. *Figur 12* zeigt die bei verschiedenen Schichtformen auf-

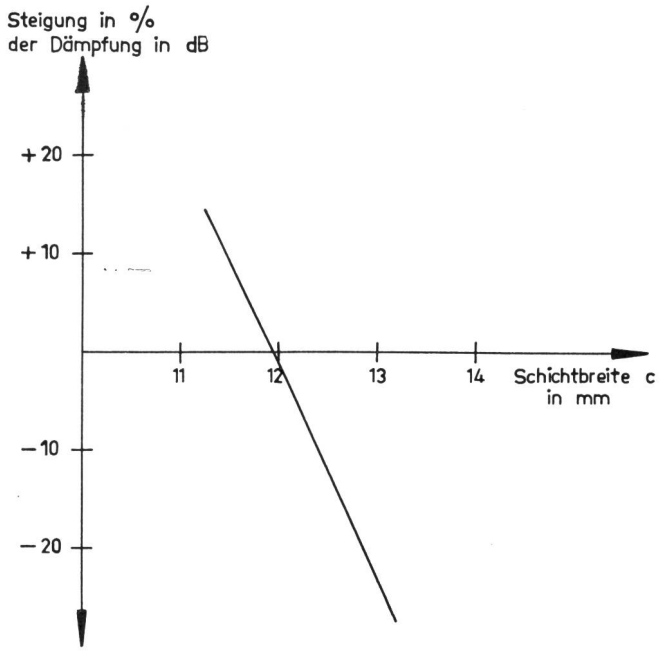

Fig. 11. Steigung der Dämpfung (frequenzmässig) als Funktion der Schichtbreite c, bei optimalem Flächenwiderstand, in % der eingestellten Bandmittendämpfung aufgetragen

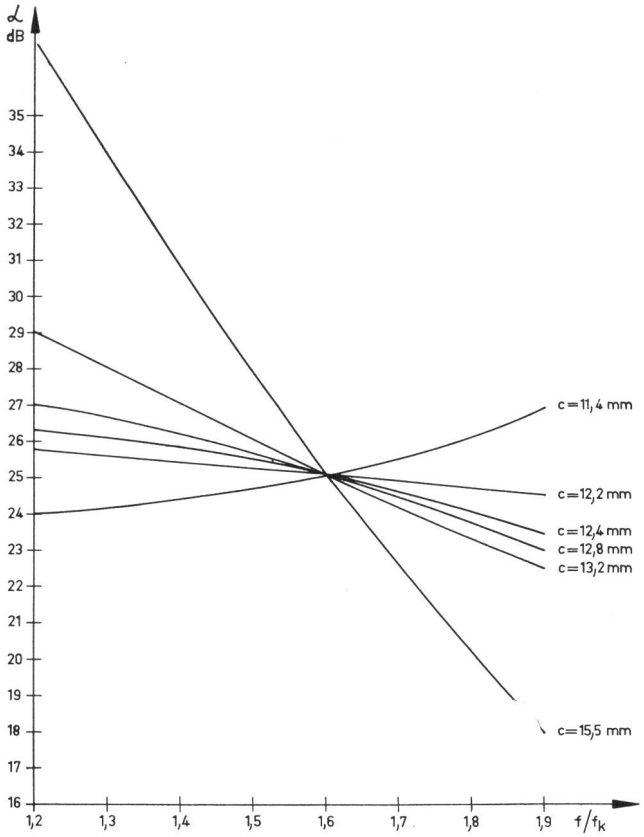

Fig. 10. Dämpfungsverläufe in Funktion der Frequenz mit der Schichtbreite c als Parameter und optimalem Flächenwiderstand

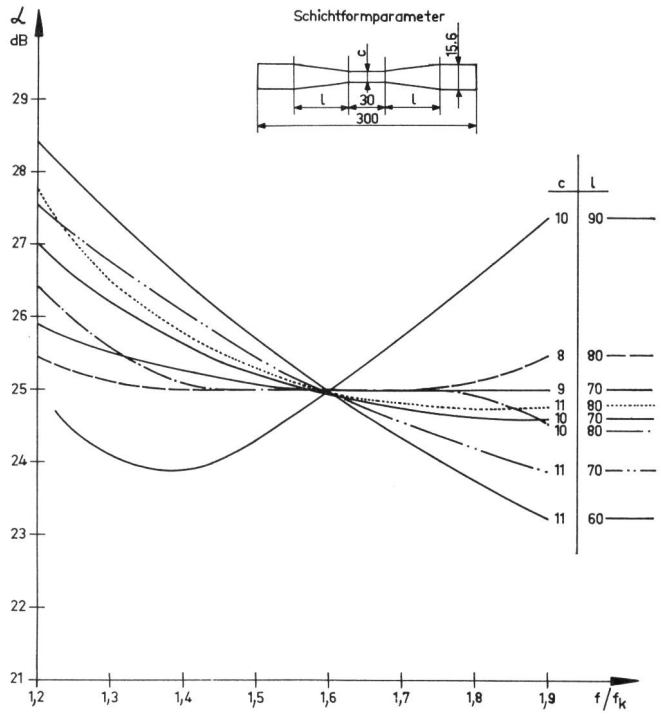

Fig. 12. Dämpfungsverläufe bei verschiedenen Schichtformen und optimalem Schichtwiderstand

tretenden Dämpfungsverläufe. In *Figur 13* wird die gemessene Steigung des Dämpfungsverlaufes, in % der eingestellten Dämpfung aufgetragen, in Funktion der beiden skizzierten Formparameter dargestellt. Ein Vergleich der *Figuren 11* und *13* zeigt, dass Herstellungstoleranzen bei der Schichtform mit eingeschnürter Schichtbreite c weniger kritisch sind, das heisst wenn hier wiederum eine Steigung des Dämpfungsverlaufes von $\pm$ 2% des eingestellten Wertes zugelassen wird, darf c_{min} um $\pm$ 0,4 mm vom Sollwert abweichen (gegenüber $\pm$ 0,1 mm bei konstantem c).

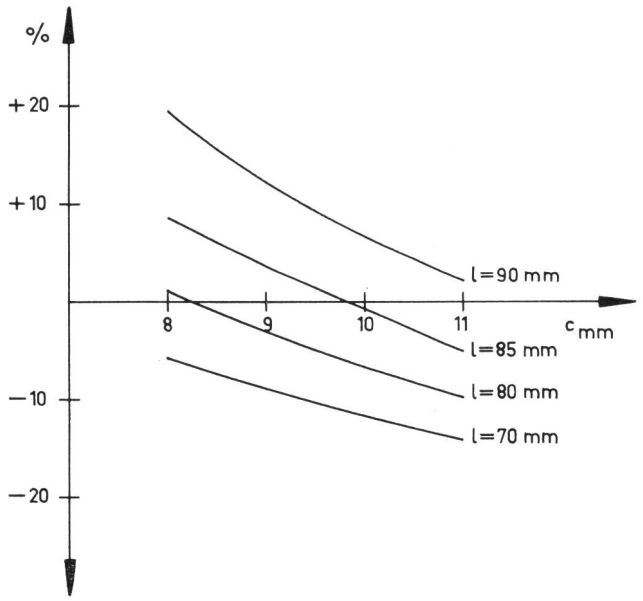

Fig. 13. Steigung des Dämpfungsverlaufes (frequenzmässig) in % der eingestellten Dämpfung, als Funktion der beiden in Figur 11 skizzierten Formparameter

6.4. *Prinzipieller Dämpfungsverlauf bei optimaler Schichtform und optimalem Flächenwiderstand in Funktion der Eintauchtiefe t_{max}.* Der Zusammenhang zwischen Dämpfung und Eintauchtiefe wird aus *Figur 14* ersichtlich. Exakte Linearisierung der Dämpfungsanzeige in Funktion der Dämpfungseinstellung (Eintauchtiefe) ist demnach nur mit Hilfe einer ungleichförmigen gekrümmten Leitkurve möglich.

Toleranzen des Flächenwiderstandes und Ungenauigkeiten der Schichtform wirken sich hauptsächlich auf die Grösse der eingestellten Dämpfung aus ($\triangle\ \alpha$ in *Fig. 14*); aber nur unbedeutend auf deren charakteristischen Verlauf in Funktion der Eintauchtiefe oder auf den Frequenzgang.

6.5. *Konstruktionsbeispiel. Figur 15* zeigt eine mögliche Konstruktion eines variablen Hohlleiterattenuators mit Zählwerkanzeige. Das Ritzel mit dem direkt gekoppelten Zählwerk schiebt die Zahnstange mit dem rechtwinklig abstehenden Fühlhebel F längs der einstellbaren Leitkurve E÷A. Der Hebel H überträgt die Bewegung auf den Nylonstift N, der die Widerstandsschicht mehr oder weniger in den Hohlleiter eindringen lässt. Da die Länge des Hebelarms zwischen F und P mit der Stellung der Schubstange variiert, ergibt sich bei gestreckter Leitkurve A÷E bereits ein der *Figur 12* ähnlicher Zusammenhang zwischen Dämpfungsanzeige und Eintauchtiefe, so dass die Leitkurve nur noch für Feinkorrekturen zwischen den Endwerten 0 dB und α_{max} dB eingestellt werden muss. *Figur 16* zeigt den Dämpfungsverlauf eines fertig abgeglichenen Attenuators. Über den einzelnen Kurven sind die am Zählwerk abgelesenen Werte angegeben.

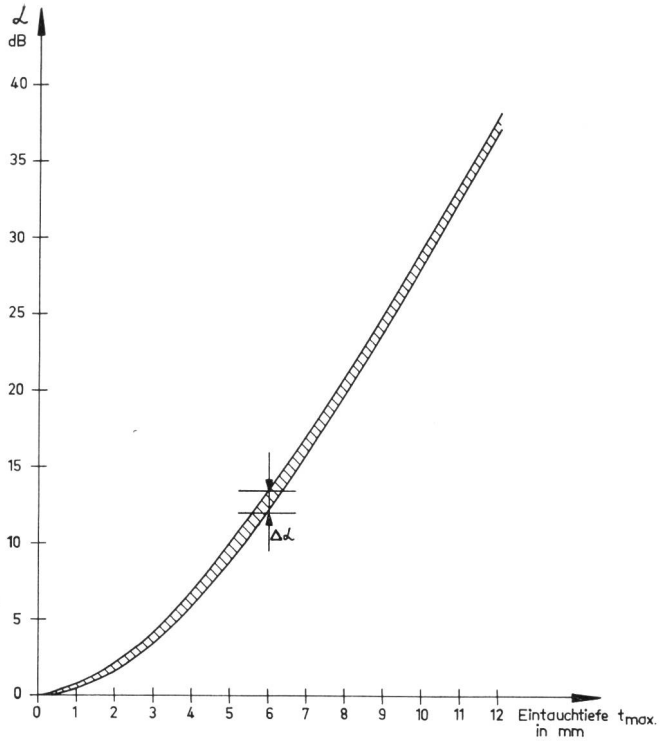

Fig. 14. Das schraffierte Gebiet ist der Dämpfungsverlauf von vier Widerstandsschichten mit optimaler Form und Schichtwiderstand in Funktion der Eintauchtiefe

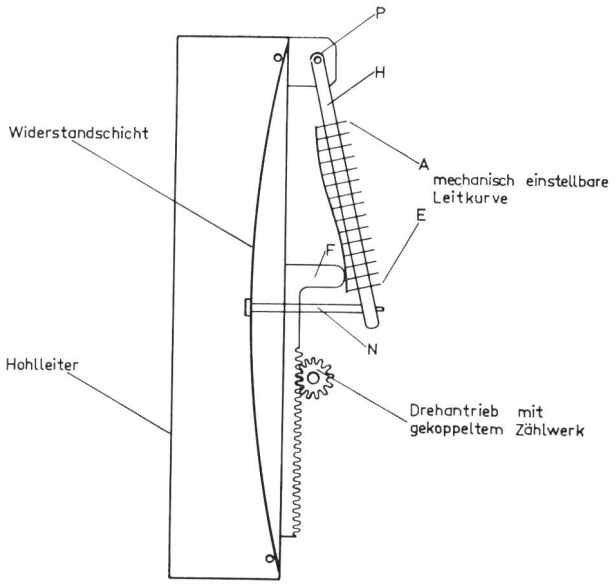

Fig. 15. Prinzipieller Aufbau eines variablen Attenuators mit gekrümmter Widerstandsschicht und digitaler Anzeige

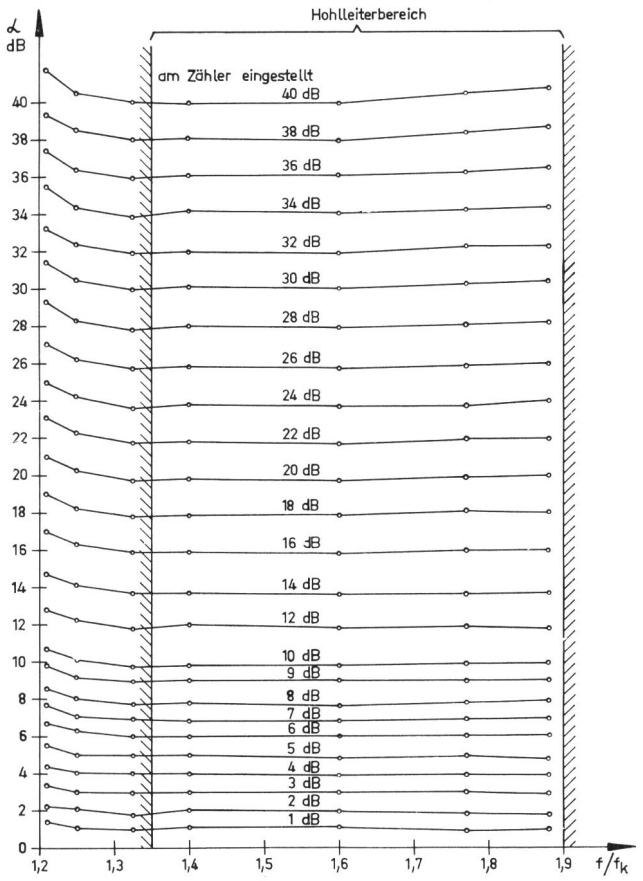

Fig. 16. Dämpfungsverlauf eines abgeglichenen Hohlleiterattenuators

6.6. *Phasenverlauf des variablen Attenuators.* In *Figur 17* ist der Phasenverlauf in Funktion der Eintauchtiefe und der Frequenz als Parameter aufgetragen. 0° entspricht dabei der Phasendrehung eines gleich langen Hohlleiterstückes ohne Widerstandsschicht. Für Anwendungen in Brückenschaltungen ist es grundsätzlich möglich, den Phasengang in

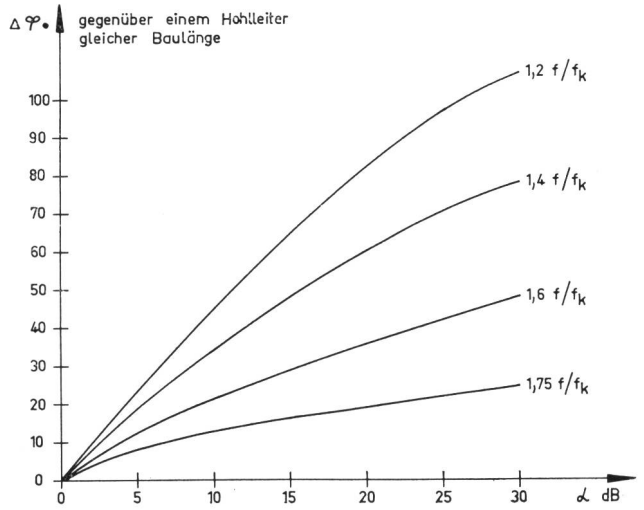

Fig. 17. Phasenverlauf eines variablen Schichtattenuators in Funktion der Dämpfung, bei verschiedenen Frequenzen

Funktion der Eintauchtiefe zu korrigieren, indem man auf der freien Hohlleiterschmalseite einen elastischen dielektrischen Kompensationsstreifen einführt; doch wurde dieses Problem in der vorliegenden Untersuchung nicht weiter verfolgt.

6.7. *Reflexionsmessungen.* Der prinzipielle Reflexionsverlauf in Funktion der Frequenz mit der eingestellten Dämpfung als Parameter ist aus *Figur 18* ersichtlich. Diese Reflexionen sind klein; deshalb kann der variable Attenuator mit nachgeschaltetem Kurzschluss auch als variables Reflexionsnormal oder als Abschlusswiderstand verwendet werden.

6.8. *Verschiedenes.* Die Temperaturabhängigkeit der Attenuatorschicht konnte in Ermangelung leistungsstarker Sender im 7-GHz-Frequenzgebiet nur bei Gleichstrom untersucht werden.

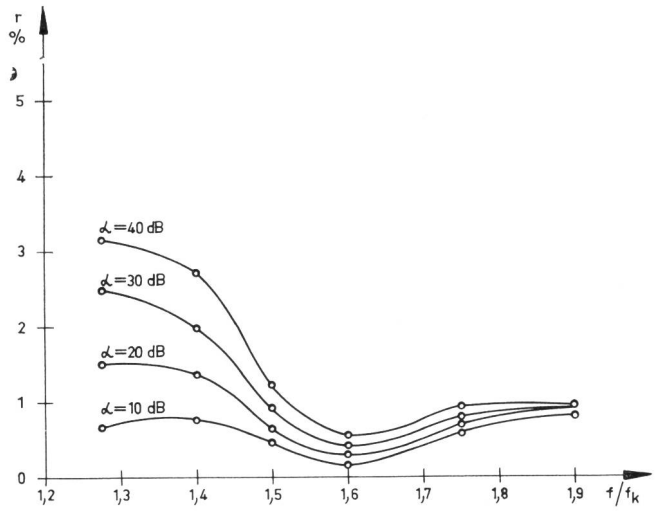

Fig. 18. Reflexionsverlauf eines variablen Hohlleiterattenuators, inklusive Flanschreflexion

Zwischen −20° und +70° C war keine Widerstandsänderung feststellbar (Messgenauigkeit ~ 1%). Die Belastbarkeit konnte aus dem gleichen Grund nur bis 1 Watt gemessen werden. Bei 1 W ist noch keine nennenswerte Erwärmung der Widerstandsschicht feststellbar.

Es soll noch erwähnt werden, dass ein weiterer Vorteil dieses Attenuatorprinzipes darin besteht, dass die Einfügungsdämpfung bei der Stellung 0 dB (Anliegen der Widerstandsschicht an der Hohlleiterwand) ausserordentlich klein, das heisst nur etwa 0,1 dB grösser als die Dämpfung eines gleichlangen leeren Hohlleiterstückes ist. Es können somit beispielsweise mit einem minimalen mechanischen Aufwand fixe Dämpfungen mit Nullstellung gebaut werden, was bei Hohlleitermeßschaltungen sehr bequem sein kann.

6.9. *Eigenschaften eines variablen Hohlleiterattenuators mit Zählwerkanzeige.* Nach dem in *Figur 15* gezeigten Prinzip wurde ein Attenuator gebaut, der folgende Eigenschaften aufweist:

Hohlleitertyp	R 70 (WR 137)
Flanschen	Miniaturflansch
Frequenzbereich	5,8...8,2 GHz
Dämpfungsbereich	0...40 dB
Genauigkeit der eingestellten Dämpfung	0...15 dB ± 0,3 dB 15...40 dB ± 2% der eingestellten Dämpfung
Dämpfungsanzeige	0...40,0 dB mit dreistelligem Zählwerk
Wiedereinstellbarkeit . . .	0,2 dB
Reflexion (beidseitig) . . .	0...20 dB $r \leq 0{,}02$ 20...40 dB $r \leq 0{,}03$
Einfügungsdämpfung bei Stellung 0 dB.	$\leq$ 0,2 dB
Temperaturabhängigkeit zwischen –10 bis + 50° C .	$<$ 0,2 dB
Phasengang (s. Fig. 14) . .	von 0...40 dB 0...90° bei 5,8...8,2 GHz
Baulänge	35 cm
Gewicht	2 kg

6.10. *Photoansicht des Attenuator-Prototyps. Figur 19* zeigt den Attenuator mit demontierter Abdeckhaube. Oben rechts ist der Einstellknopf mit stirnseitig eingebautem Zählwerk sichtbar. Die Lochreihe am Hebel H (vgl. *Fig. 15*) direkt unter der Deckplatte dient zum Einstellen der Dämpfungsfeinkorrektur.

7. Messungen am Abschlusswiderstand mit gekrümmter Widerstandsschicht

7.1. *Reflexionsmessungen.* In den *Figuren 20* und *21* sind Reflexionsverläufe von gekrümmten Widerstandsschichten mit nachgeschaltetem Kurzschluss eingetragen. Im praktischen Fall addieren sich noch die Flanschreflexionen vektoriell zu diesen gemessenen Werten, die für Präzisionshohlleiter etwa in

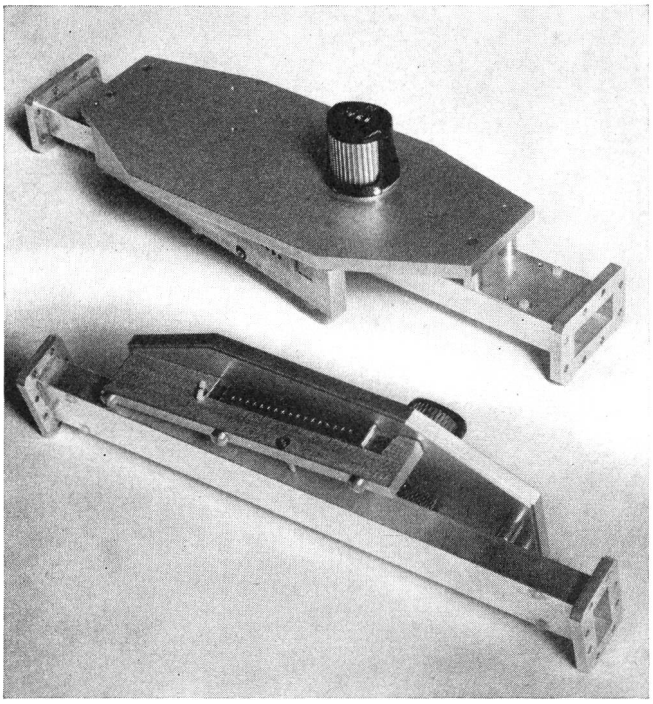

Fig. 19. Ansicht des variablen Hohlleiterattenuators

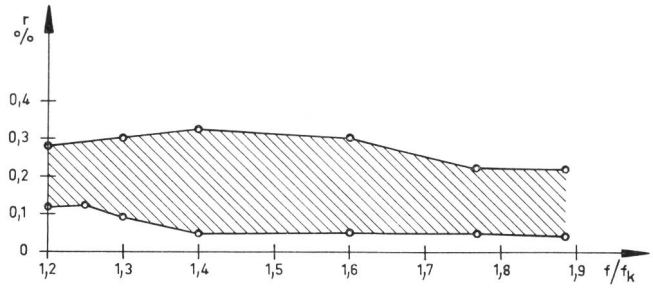

Fig. 20. Die Reflexionsverläufe von vier Abschlusswiderständen liegen innerhalb des schraffierten Gebietes (ohne Flanschreflexion)

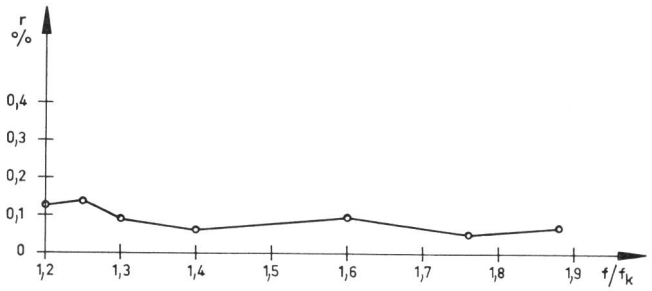

Fig. 21. Reflexionsverlauf eines besonders guten Flächenwiderstandstreifens (ohne Flanschreflexion)

der gleichen Grössenordnung wie die Abschlussreflexionen liegen. Die beiden Reflexionen können aber wenn nötig voneinander getrennt werden, indem die als Gleitlast ausgebildeten Abschlusswiderstände gegenüber den feststehenden Flanschreflexionsstellen längsverschoben werden. Mit ausgewählten Widerstandsstreifen (etwa 20% aller Streifen) können mühelos Abschlusswiderstände mit einer maximalen Reflexion von 0,3% über das ganze Hohlleiterfrequenzband hergestellt werden.

7.2. *Belastbarkeit.* Auch hier konnte die Belastbarkeit nur bis 1 W geprüft werden. Bei 1 W ist noch keine nennenswerte Erwärmung der Schicht feststellbar.

7.3. *Eigenschaften von Präzisionshohlleiterabschlüssen.* Hohlleiterabschlusswiderstände mit gekrümmter Widerstandsschicht und nachgeschaltetem Kurzschluss wurden für verschiedene Hohlleitergrössen und Frequenzbereiche gebaut. Folgende Werte konnten mühelos eingehalten werden:

Hohlleitertyp	R 40 (WR 229)	R 70 (WR 137)	R 100 (WR 90)
Flansch . . .	Dichtungsflansch	Miniaturflansch	quadratischer Planflansch
Frequenzbereich . .	3,3...4,9 GHz	5,2...8,2 GHz	8,2...12,4 GHz
Reflexion der Gleitlast .	$r \leq 0{,}003$	$r \leq 0{,}003$	$r \leq 0{,}003$
Flanschreflexion .	$r_f \leq 0{,}004$	$r_f \leq 0{,}004$	$r_f \leq 0{,}004$
Belastbarkeit	5 W	1 W	noch nicht bestimmt
Baulänge . .	42 cm	40 cm	35 cm
Gewicht . .	1,8 kg	0,8 kg	400 g

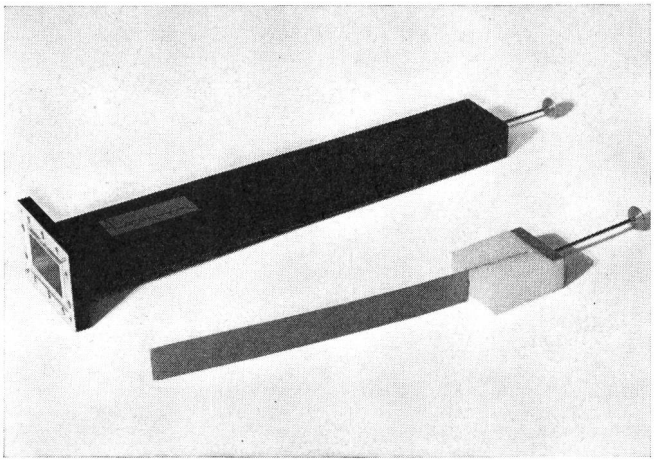

Fig. 22. Ansicht eines Hohlleiterabschlusswiderstandes, vorne das ausgebaute Widerstandselement

7.4. *Figur 22* zeigt noch einen Abschlusswiderstand des Hohlleitertyps R 40 (WR 229), daneben ein ausgebautes Widerstandselement.

Bibliographie

[1] *Steinhart, R.* Ein Frequenzunabhängiges und weitgehend phasenreines Dämpfungsglied der Mikrowellentechnik. Nachrichtentechnische Zeitschrift **10** (1957), S. 294 ff.

[2] *Weber, E., Griesheimer, R. N.* Microwave attenuators, Technique of microwave measurements, New York 1947.

[3] *Buseck, H., Klages, G.* Das homogene Rechteckrohr mit Dämpfungsfolie. A.E.U. **12** (1958), S. 163 ff.

[4] *Papadopoulos, V. M.* Scattering by a semi-infinite resistive strip of dominant-mode propagation in a infinite rectangular wave-guide. Proc. Cambridge Phil. Soc. **52** (1956), S. 553 ff.

M. Pfenninger, Olten

Die neuen transistorisierten End- und Überlaufverstärker

Les nouveaux amplificateurs terminaux et de débordement transistorisés

621.395.647:621.375.4

Einleitung

Die in der Fernnetzebene verlaufenden Leitungsbündel der schweizerischen PTT-Betriebe bestehen zum grossen Teil aus Vierdrahtleitungen. Damit die grössere Stabilität (geringere Pfeifneigung) der Vierdrahtleitung voll ausgenützt werden kann, wurden in der Vermittlungstechnik der Fernknotenämter (Tandemämter) die an diese Leitungen angeschlossenen Schaltorgane für die vierdrähtige Durchschaltung der Fernleitungen entwickelt. Aus *Figur 1* ist der prinzipielle Aufbau einer vierdrähtig durchgeschalteten Fernverbindung mit der für den automatischen Fernbetrieb gültigen Dämpfungsverteilung ersichtlich. Das wesentliche bei diesem Verbindungsaufbau ist, dass die in den Fernknotenämtern (FKA) angeschlossenen Haupt- und Sammelleitungen einheitlich geschaltet sind, vierdrähtig durchgeschaltet werden und der Pegel dieser Leitungen unter sich gleich ist.

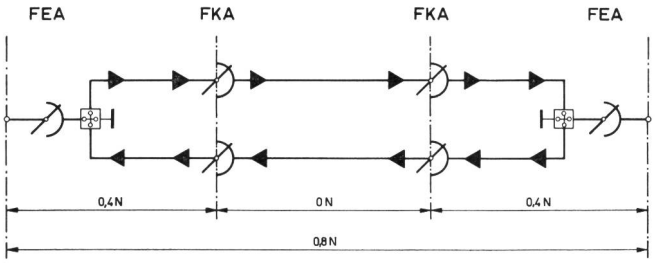

Fig. 1. Prinzipschaltung und Dämpfungsverhältnisse einer Fernverbindung mit Vierdraht-Durchschaltung
Schéma de principe et conditions d'affaiblissement d'une liaison interurbaine avec connexion à quatre fils
FEA = Fernendamt – Central terminus interurbain
FKA = Fernknotenamt – Central nodal interurbain

Introduction

Les faisceaux de circuits du réseau interurbain de l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses se composent en majeure partie de circuits à quatre fils. Pour que la plus grande stabilité (tendance au sifflement plus faible) du circuit à quatre fils puisse être utilisée entièrement, les organes de connexion branchés sur ces circuits ont été mis au point dans la commutation des centraux nodaux interurbains (centraux tandems) pour le raccordement à quatre fils des lignes interurbaines. La *figure 1* montre le principe d'une liaison interurbaine à quatre fils avec la répartition de l'affaiblissement valable pour le service interurbain automatique. L'avantage essentiel de ces liaisons réside dans le fait que les lignes principales et collectrices raccordées aux centraux nodaux interurbains sont reliées d'une façon uniforme et connectées à quatre fils, et que le niveau de ces lignes entre elles est le même.

Le diagramme de jonctions du central tandem à quatre fils d'Olten *(fig. 2)* indique, en substance, la possibilité de connecter les lignes encore exploitées à deux fils au central tandem à quatre fils avec amplificateurs terminaux. Ainsi l'acheminement du trafic de transit se fait entièrement en quatre fils, soit de l'équipement interurbain entrant jusqu'à l'équipement sortant en passant par le 1er et le 2e chercheur tandem.

La connexion à quatre fils étant introduite par étapes dans le central tandem d'Olten, il a fallu créer un dispositif de transition pour relier les circuits interurbains à quatre fils entrants aux circuits interurbains à deux fils existants (voir fig. 2). L'amplificateur de débordement attribué aux circuits tandems a