

**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:** 28 (1950)

**Heft:** 4

**Artikel:** Übersicht über den heutigen Stand der Trägertelephone

**Autor:** Locher, F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874364>

### **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:** 30.04.2026

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

chen haben, proportional sein dem Produkt der einzelnen relativen Impulsöffnungen  $II f_\nu T_\nu$  ( $f_\nu$  Impulsfrequenz,  $T_\nu$  Impulsdauer). (Vgl. Fig. 9).

Die Impulsdauer  $T_\nu$  ist in jedem Falle proportional der entsprechenden Eingangsgrösse  $x_\nu$ . Nehmen wir eine genügend lange Zeit (relativ zur niedrigsten Impulsfrequenz), so ist der Mittelwert der Ausgangsspannung direkt proportional dem Produkt  $II f_\nu T_\nu = k_1 II f_\nu x_\nu = k_2 II x_\nu$ . Diese Schaltung setzt naturgemäss voraus, dass

$$\left| \frac{1}{x_\nu} \cdot \frac{dx_\nu}{dt} \right| \ll f_0 \text{ ist, wobei } f_0 \text{ die kleinste aller } f_\nu \text{ ist.}$$

Mit den vorstehenden Ausführungen sind die Möglichkeiten «mathematischer» Schaltungen in ihrer Gesamtheit noch lange nicht erfasst. Es wurde ledig-

lich versucht, einen kurzen Überblick über dieses grosse Gebiet zu geben.

Gerade die enorme Mannigfaltigkeit der Lösungen lässt dem Schaltungstechniker Tür und Tor offen, um neue, bessere Wege zu suchen und sich von den — zeitlich veränderlichen — Röhreneigenschaften möglichst unabhängig zu machen.

**Bibliographie**

- 1) John R. Ragazzini, Robert H. Randell and Frederick A. Ressel. Analysis of Problems in Dynamics by Electronic Circuits. Proc. Inst. Radio Eng. **35** (1947), p. 444.
- 2) C. E. Berry, D. E. Wilcox, S. M. Rock and H. W. Washburne. A Computer for Solving Simultaneous Equations. J. Appl. Physics **17** (1946), p. 262.
- 3) Ivan A. Greenwood, J. Vance Holdam and Duncan Macrae. Electronic Instruments. — Massachusetts Institute of Technology, Radiation Series. New York 1948.

## Übersicht über den heutigen Stand der Trägertelephonie\*)

Von F. Locher, Bern

621.335.44

**Zusammenfassung.** Der Aufsatz gibt einen Überblick über den heutigen Stand der drahtgebundenen Mehrkanaltelephonie. Es werden der grundsätzliche Aufbau, die in den letzten Jahren erzielten Fortschritte und die wichtigsten Eigenschaften moderner Endausrüstungen und Breitbandübertragungsleitungen besprochen.

Seit der ersten Inbetriebnahme von Ausrüstungen für die mehrfache Ausnützung von Freileitungen in den zwanziger Jahren und der allmählichen Anwendung dieser Schaltverfahren auf Kabelleitungen, hat die drahtgebundene Nachrichtentechnik im Laufe der letzten Jahre einen bedeutenden Umschwung erfahren, der sich durch die Vielfach-Ausnützung von Leitungen für Sprache, Musik und Fernsehen kennzeichnet. Gefördert wurde diese neue Technik einerseits durch den in allen Ländern immer akuter werdenden Mangel an Fernleitungen, andererseits aus dem Bedürfnis heraus, die Kabel möglichst intensiv und in wirtschaftlich befriedigender Weise auszunützen. So ist zum Beispiel bei der Mehrfachausnützung die rein mengenmässige Einsparung an Leitungskupfer pro Kilometer und Sprechkreis recht beträchtlich, wie dies aus Fig. 1 hervorgeht. Der Vergleich bezieht sich auf Tonfrequenz-Vierdrahtleitungen von 0,9 mm Durchmesser mit Phantomausnützung, Trägerkabelleitungen mit 1,3 mm Durchmesser und den vom CCIF empfohlenen Koaxialleitern mit 2,6 mm Durchmesser des Innenleiters und 9,4 mm innerem Durchmesser des Aussenleiters. Die Einsparungen an Bleiverhalten sich als Folge der geringeren Kabeldurchmesser in ähnlichem Verhältnis.

Wenn auch die Trägerfrequenztechnik heute in verschiedener Hinsicht einen gewissen Abschluss gefunden hat, so wird doch unablässig an deren Weiterentwicklung gearbeitet. Das Ergebnis dieser Arbeiten zeigt sich in der Erhöhung der Betriebssicher-

**Résumé.** Cet exposé donne un aperçu de la situation actuelle de la téléphonie à courants porteurs, de ses principes, des progrès réalisés dans ce domaine au cours des dernières années et des propriétés essentielles des équipements terminaux modernes et des circuits de transmission à large bande.

heit der Ausrüstungen, in der Verkleinerung und Verbilligung der Einzelteile, in der Vergrösserung

kg Cu /km/kanal

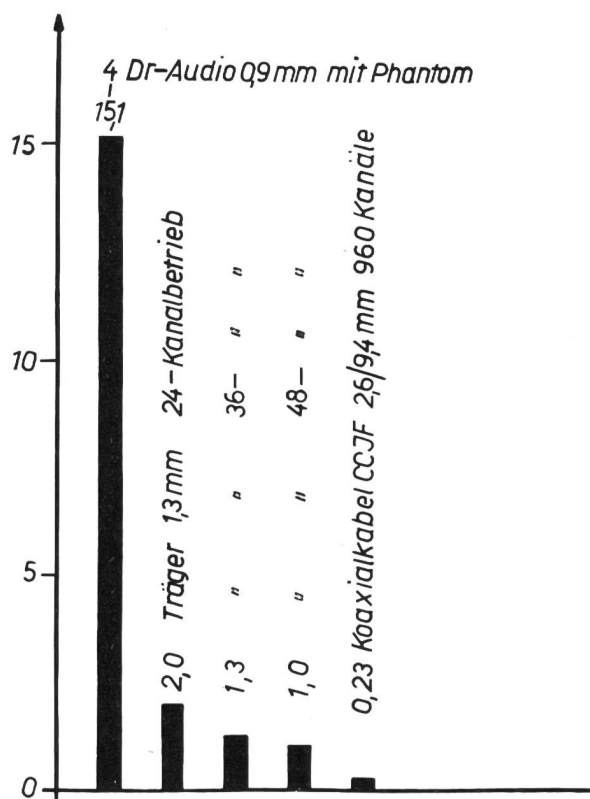


Fig. 1. Kupferbedarf pro km und Sprechkreis für verschiedene Übertragungsverfahren

\*) Nach einem Vortrag, gehalten am 20. Oktober 1949 in der Sektion Bern des Schweizerischen Technischen Verbandes.

der Kanalzahl je Breitbandleitung, in der Erhöhung der Anpassungsfähigkeit für die verschiedensten im praktischen Einsatz auftretenden Fälle usw.

Besondere Bedeutung kommt auch dem Umstande zu, dass man sich innerhalb des CCIF schon frühzeitig damit beschäftigt hat, Empfehlungen für die Normalisierung der wichtigsten Eigenschaften von Trägersystemen auszuarbeiten. Da sich diese Richtlinien in allen Ländern weitgehend durchgesetzt haben, können auch internationale Verbindungen über Trägersystemen ohne Schwierigkeiten hergestellt werden.

### 1. Allgemeines über moderne Trägeranlagen

Für die Mehrfachübertragung einer grösseren Zahl von Nachrichtenspektren gibt es verschiedene Möglichkeiten. Sie werden gewöhnlich unter dem Namen Frequenzmultiplex- und Zeitmultiplexverfahren in zwei Gruppen eingeteilt, wobei auch Mischungen der beiden Verfahren denkbar sind.

Bei der Wahl des Modulationsverfahrens für Trägeranlagen war der Gedanke wegleitend, auf einem vorgegebenen Frequenzband eine möglichst grosse Zahl von Kanälen unterzubringen; denn bei der drahtgebundenen Übertragung steigt die Dämpfung mit zunehmender Frequenz stark an, so dass die praktisch zur Verfügung stehende Bandbreite mög-

durch das nichtlineare Verhalten der Breitbandverstärker erzeugten Modulationsprodukte ergeben unverständliches Nebensprechen (Geräuschspannungen in anderen Kanälen bestimmter Frequenzlagen), für welches grössere Werte zugelassen werden können als im Falle von verständlichem Nebensprechen.

Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass der Träger bei der Demodulation wieder zugesetzt werden muss, wobei er in seiner Frequenz nur um wenige Hz von der Trägerfrequenz auf der Sendeseite abweichen darf.

Ist dies nicht der Fall, so treten die für die Einseitenbandübertragung charakteristischen Verzerrungen auf. Ein ursprünglich harmonisches, aus Grund- und Oberwellen zusammengesetztes Nachrichtenspektrum wird disharmonisch, weil alle Teilfrequenzen um den Betrag der Trägerfrequenzdifferenz auf der Send- und Empfangsseite verschoben werden. Erfahrungsgemäss ist das menschliche Ohr sehr empfindlich für diese Art von Verzerrungen. Bei der Sprache werden Frequenzunterschiede von 20, bei Musik von ungefähr 10 Hz schon wahrgenommen. Noch schärfere Bedingungen ergeben sich bei der Übertragung von Mehrfachtelegraphie über Trägerleitungen.

Diese Tatsache führte zu der vom CCIF angenommenen Empfehlung, wonach die sende- und empfangs-

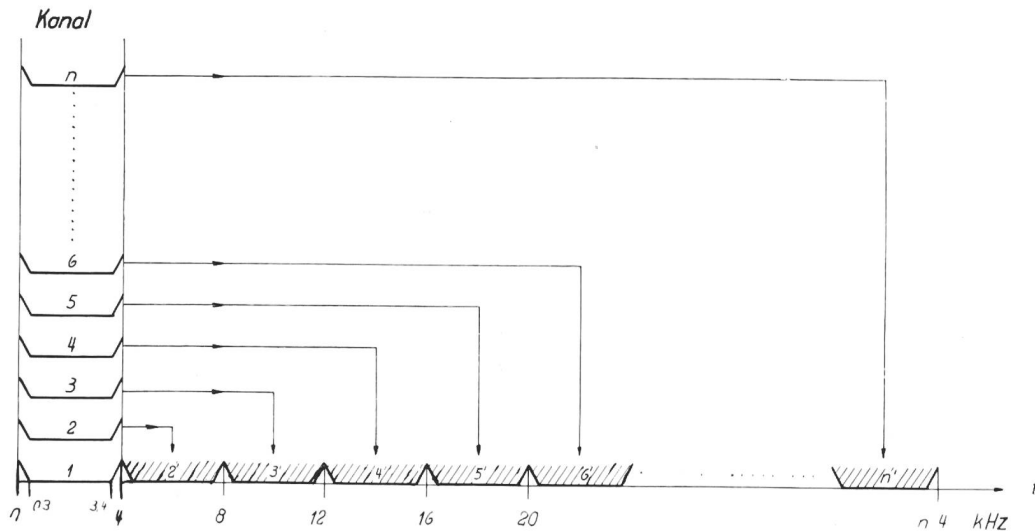


Fig. 2.  
Prinzip der Mehrfachübertragung von Kanälen durch Versetzen in eine höhere Frequenzlage

lichst gut ausgenutzt werden muss. Diese Forderung führte zu der heute allgemein üblichen Einseitenbandübertragung mit unterdrücktem Träger. Die einzelnen Sprachspektren werden dabei frequenzmässig so versetzt, dass sie nebeneinander zu liegen kommen, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Es handelt sich demnach um reine Frequenzmultiplexsysteme. Die Unterdrückung der Trägerfrequenzschwingung bringt, ausser dem Vorteil der besseren Frequenzbandausnutzung, vor allem einen bedeutenden Leistungsgewinn für die Breitbandverstärker, ist doch die Trägeramplitude je nach Modulationsgrad  $2\frac{1}{2}$ - bis 5mal grösser als die Seitenbandamplitude. Die

seitigen Trägerfrequenzen nicht mehr als  $\pm 2$  Hz voneinander abweichen dürfen. Um dieser Forderung nachzukommen, werden die Basisoszillatoren der Trägererzeuger eines nationalen Trägernetzes meistens von einer Zentralstelle aus über Pilotfrequenzen der Trägerleitungen synchronisiert. Ausserdem sind die einzelnen Generatoren von sich aus schon hochstabil — meistens quartzesteuert — so dass auch bei Wegfall der Synchronisierung die Frequenzabweichungen nicht unzulässig hohe Werte annehmen.

Da nach den Empfehlungen des CCIF ein moderner Sprachkanal das Frequenzband von 300...3400 Hz übertragen soll, führte dies im Zusammenhang mit

der praktisch realisierbaren Trennschärfe der Filter auf den heute allgemein üblichen Kanalabstand von 4000 Hz. Die ausnützbare Bandbreite beträgt demnach rund 80% der theoretischen.

Der Betrieb der Systeme erfolgt meistens vierdrahtmässig. Dabei sind zwei verschiedene Verfahren üblich:

Beim wichtigeren, dem sogenannten *Gleichlageverfahren*, werden die beiden Gesprächsrichtungen bei gleicher Frequenzlage der zugehörigen Kanäle und Gruppen auf getrennten Leitungen geführt. Im *Trennlageverfahren* dagegen liegen die Sprechkreise für Hin- und Rückleitung gruppenweise in verschiedenen Frequenzlagen, so dass nur eine, allerdings doppelt gerichtete Leitung zwischen den Endstellen benötigt wird.

Da mit zunehmender Kanalzahl das benötigte Frequenzband stets grösser wird, hängt die maximale Zahl der Kanäle, die übertragen werden kann, in erster Linie von der wirtschaftlich ausnutzbaren Bandbreite, der Linearität und allenfalls den Werten des Nebensprechens des zur Verfügung stehenden Übertragungsweges ab. Als Breitbandübertragungswege kommen heute, abgesehen von den Freileitungen, deren Mehrkanalsysteme hier nicht behandelt werden sollen, folgende in Frage:

- a) Leicht bis sehr leicht pupinisierte Kabelleitungen. Sie erlauben, neben dem Audiokanal, je nach Grenzfrequenz, noch ein bis drei Trägersprechkreise zu bilden.
- b) Unpupinisierte Aderpaare von gewöhnlichen Fernkabeln. Hier kommen 12- oder 24-Kanalsysteme zum Einsatz.
- c) Besondere, sogenannte Trägerkabel. Sie erlauben die Übertragung von 24 bis 48 Kanälen je Vierdrahtleitung.
- d) Koaxialkabel. Ausbau bis auf rund 1000 Sprechkreise je Koaxialleiterpaar möglich.
- e) Richtstrahlverbindungen. Zur Zeit können 12 bis 24 Kanäle übermittlelt werden. Systeme für höhere Kanalzahlen werden entwickelt, bzw. sind im Versuchsstadium.

Für den Trägerbetrieb auf unpupinisierten Aderpaaren von gewöhnlichen Fernkabeln oder besonderen Trägerkabeln hat das CCIF den Frequenzbereich von 12...204 kHz vorgesehen. Dieser Bereich gestattet die Unterbringung von 48 Kanälen mit 4 kHz Kanalabstand. Die Unterteilung ist wie folgt in vier 12er-Gruppen vorgenommen (siehe auch Fig. 5 unten):

Gruppe	12 Kanäle zwischen kHz	Übertragung in
A	12...60	Regellage
B	60...108	Kehrlage
C	108...156	Kehrlage
D	156...204	Kehrlage

Der Betrieb auf koaxialen Kabeln ist in das Frequenzband 60...4028 kHz verlegt. Der ganze Bereich

wird in 16 Supergruppen zu 60 Kanälen unterteilt, wobei jede Supergruppe ihrerseits wieder in fünf 12er-Gruppen zerfällt. Dies gibt im gesamten 960 Telephoniekanäle im Vollausbau (siehe auch Fig. 6).

Die Realisierung der Mehrkanalübertragung auf der vorerwähnten Basis schuf sowohl eine neue Apparate- wie Fernkabeltechnik.

In den folgenden Ausführungen wird ein Überblick über den grundsätzlichen Aufbau heutiger Endausrüstungen und Breitbandleitungen gegeben, wobei von denjenigen kleinerer Kanalzahl — siehe unter a) — abgesehen werden soll. Auf Einzelheiten in der Ausführung der verschiedenen Apparate wird nicht eingegangen.

## 2. Endausrüstungen

### 2. 1. Das 12-Kanal-System als Grundlage von Mehrkanalträgeranlagen

Nachdem sich die Empfehlungen des CCIF allgemein durchgesetzt haben, bildet heute, abgesehen von den Ausrüstungen für leicht und sehr leicht pupinisierte Leitungen, das 12-Kanal-System die Grundlage und den Ausgangspunkt für alle modernen Mehrkanalträgeranlagen. Im Verlaufe der letzten Jahre wurde eine grosse Zahl verschiedener Trägerfrequenzausrüstungen gebaut, für deren ausführliche Beschreibung wir auf die Literatur verweisen [1...7]\*. Je nach Fabrikat bilden die 12 umgesetzten Kanäle entweder direkt eine A- oder B-Gruppe oder liegen ausserhalb des Übertragungsbereiches. Zur Herstellung der 12er-Gruppe werden entweder eine oder zwei Modulationsstufen herangezogen (Fig. 3).

Systeme mit einer Modulationsstufe sind einfach im Aufbau und haben den Vorteil eines kleinen Pegelverlustes, erfordern jedoch für jeden Kanal ein Filter mit anderem Durchlassbereich. Zudem sind die Anforderungen an die Siebschaltungen bezüglich Flankensteilheit und Unabhängigkeit gegen Temperaturschwankungen, besonders in den höheren Frequenzlagen, recht beträchtlich, weil der relative Frequenzabstand zwischen den beiden Seitenbändern mit steigender Frequenz immer kleiner wird.

Bei den Systemen mit doppelter Modulation werden alle Kanäle mit Hilfe einer Vormodulationsstufe zunächst in eine höhere Frequenzlage versetzt. In der anschliessenden Bandmodulation ergeben sich dann grössere Frequenzabstände zwischen den Seitenbändern, so dass sie mit einfacheren Filtern getrennt werden können. Ein Vorteil dieses Verfahrens liegt auch darin, dass die komplizierten, für die einwandfreie Ausfilterung des Kanals in erster Linie verantwortlichen Vormodulationsbandfilter für alle 12 Kanäle gleich sind.

Als Modulatoren werden röhrenlose Schaltungen mit Sperrgleichrichterzellen — Kupferoxydul-, Selen- oder Germaniumzellen — verwendet [8]. Die gebräuchlichsten sind der Ring- und der Cowan-Modu-

\*) Siehe Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

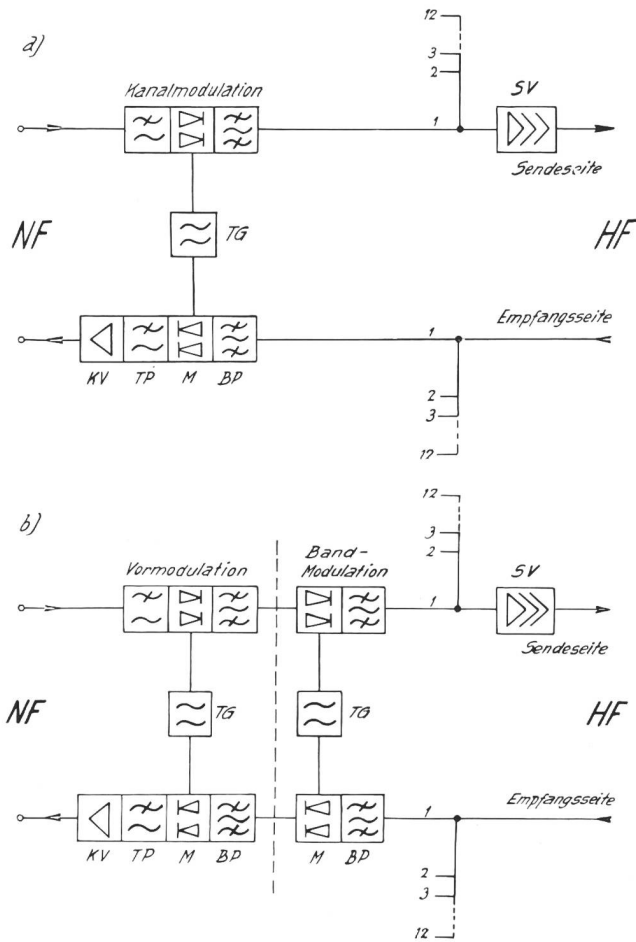


Fig. 3. Schematischer Aufbau von 12-Kanal-Trägersystemen  
 a) einstufig, b) zweistufig  
 BP = Bandpassfilter      KV = Kanalverstärker  
 M = Modulator            SV = Sendeverstärker  
 TP = Tiefpassfilter      TG = Trägergenerator  
 NF = Niederfrequenzseite    HF = Hochfrequenzseite

lator (Fig. 4). Bei beiden sind die unerwünschten Modulationsprodukte gering; der Träger wird zufolge des symmetrischen Aufbaues unterdrückt. Die Ausgangsnutzspannung des Cowan-Modulators ist nur halb so gross wie diejenige des Ringmodulators.

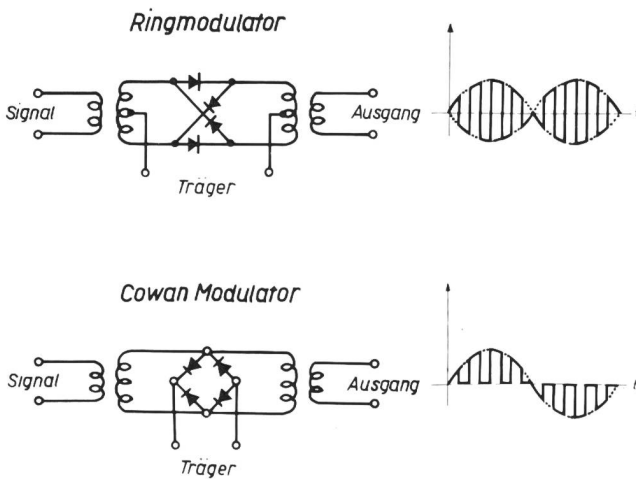


Fig. 4. Modulatoren und zeitlicher Verlauf der Ausgangsspannung bei sin-förmigem Signal

Als Siebschaltungen kommen Spulen- und Kristallfilter zur Anwendung, die letzteren vorwiegend in Systemen mit einfacher Modulation. Dank der Entwicklung besserer Kernmaterialien können heute Spulenbandfilter auch in Frequenzlagen verwendet werden, in denen früher nur mit Kristallfiltern befriedigende Resultate erreicht wurden.

2. 2. 24-, 36- und 48-Kanal-Systeme für den Betrieb auf symmetrisch aufgebauten Kabeln

Obschon es grundsätzlich möglich wäre, die Zahl der Sprechkreise nach der vorstehend erläuterten Methode zu erhöhen, würde dies weder zu zweckmässigen noch wirtschaftlichen Lösungen führen. Es wird deshalb heute allgemein zum Gruppenmodulationsverfahren gegriffen, indem man das 12-Kanal-System als Grundeinheit benützt und Systeme höherer Kanalzahlen durch Versetzen ganzer 12er-Gruppen in aneinanderliegende Frequenzbänder bildet. Figur 5 zeigt im Prinzip den Aufbau solcher Mehrkanalanlagen.

Die vier Systeme I, II, III und IV liefern an ihren Ausgangsklemmen A-Gruppen im Frequenzbereich von 12...60 kHz. Die Ausgangsspannung des ersten Systems gelangt über die zwei 6-Pol-Entkoppler E direkt auf den Sendeverstärker SV. Das vom zweiten System gelieferte Frequenzspektrum durchläuft zunächst einen Gruppenumsetzer, bestehend aus dem Vorverstärker V, dem Modulator M und dem Bandfilter BF. Der Modulator wird mit einer Trägerfrequenz von 120 kHz gespeist; das Bandfilter siebt das untere Seitenband im Frequenzband 60...108kHz (B-Gruppe) aus. Wie man sich überzeugen kann, liegen die Kanäle der B-Gruppe in der Kehrlage, wie dies sein muss. Ganz analog ist die Bildung der C- und D-Gruppen, wobei lediglich die Trägerfrequenzen und die Durchlassbereiche der Bandfilter geändert werden. Über die Entkopplungssechspole können dann, je nach Wunsch, 2, 3 oder 4 Gruppen zusammengeschaltet und gemeinsam übertragen werden.

Auf der Empfangsseite (Fig. 5 rechts) wird die A-Gruppe nach dem Durchlaufen des Leitungszerrers EZ und des Empfangsverstärkers EV direkt vom betreffenden System demoduliert. Die B-, C- und D-Gruppen werden durch die Bandfilter BF individuell ausgesiebt, im nachfolgenden Gruppendemodulator in die A-Gruppe versetzt, verstärkt und im anschliessenden Basissystem in die 12 Audiokanäle zerlegt. Wie ersichtlich, weisen solche Systeme eine grosse Anpassungsfähigkeit auf. Durch Zuschalten einer Gruppenumsetzung können aus den 12-Kanal-Einheiten, je nach der zur Verfügung stehenden Breitbandleitung, 24-, 36- oder 48-Kanal-Systeme gebildet werden.

Im vorliegenden Beispiel wurde angenommen, dass es sich um 12-Kanal-Systeme handelt, welche A-Gruppen liefern bzw. verarbeiten. Ganz analog ist das Vorgehen bei Ausrüstungen, welche auf der B-Gruppe oder einer 12er-Gruppe ausserhalb des Übertragungsbereiches basieren. Einen einfachen Aufbau eines 24-

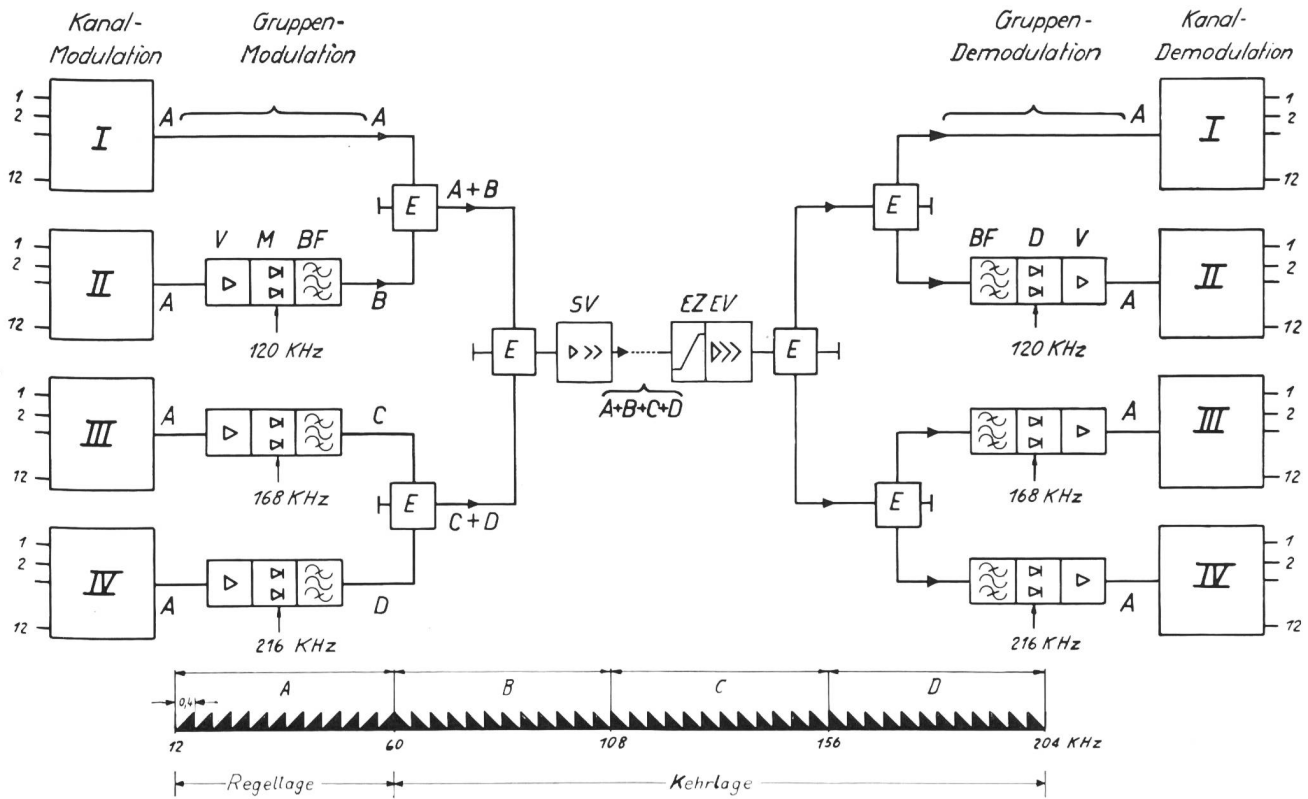


Fig. 5. Prinzipaufbau eines 48-Kanal-Systems

Kanal-System erhält man auch durch Kombinieren von zwei 12-Kanal-Einheiten des A- und B-Typs. Eine Gruppenmodulation ist in diesem Falle nicht nötig.

An die Gruppenmodulatoren werden besonders in denjenigen Fällen, in denen das Frequenzband die Oktave überschreitet, erhebliche Anforderungen bezüglich Linearität gestellt. Denn die durch eine nicht ganz lineare Charakteristik verursachten Kombinationsfrequenzen können in das Frequenzband der Kanäle fallen und zur Geräuschbildung Anlass geben. Die Dämpfung der Modulationsprodukte muss daher mindestens in der Größenordnung von 7 N liegen.

2. 3. Endausrüstungen für Betrieb auf Koaxialkabeln

Während bei der Mehrfachausnutzung symmetrischer, Papier-Luft-Raum-isolierter Trägerkabel die obere Grenze der Kanalzahl zur Zeit bei 48 Gesprächen je Vierdrahtleitung liegt, kann sie beim Einsatz von koaxialen Leitern bis auf rund 1000 erhöht werden [9, 10]. Auch für diesen Fall ist die Frequenzlage der Kanäle und Gruppen in Empfehlungen des CCIF festgelegt (Fig. 6). Die Grundlage bildet das 12-Kanal-System in der Lage 60...108 kHz (B-Gruppe). Je fünf dieser Einheiten werden durch Gruppenmodulation zunächst zu einer sogenannten Basissupergruppe in der Frequenzlage 312...552 kHz zusammengefasst. Die hierzu benötigten Trägerfrequenzen sind 420, 468, 512, 564 und 612 kHz. Wie aus Fig. 6 hervorgeht, kommen dabei die 60 Kanäle in 4 kHz Abstand lückenlos nebeneinander zu liegen.

Der nächste Schritt besteht in der frequenzmässigen

Aneinanderreihung von Supergruppen durch Frequenzumsetzung der Basissupergruppen. Die Supergruppe 1 im Frequenzband 60...300 kHz wird durch Modulation mit einer Trägerfrequenz von 612 kHz erhalten. Anschliessend folgt im Abstand von 12 kHz die Supergruppe 2 im Bereich 312...552 kHz, wofür gerade eine Basissupergruppe ohne Frequenzumsetzung verwendet werden kann. Im Abstand von 12 kHz folgt die Supergruppe 3, welche das Band 564...804 kHz belegt usw. Die nächsten Supergruppen werden jeweils mit einem Abstand von 8 kHz aneinandergereiht. Die erforderlichen Trägerfrequenzen sind in Fig. 6 eingetragen. Wie ersichtlich, wird bei jeder Frequenzumsetzung stets nur ein Seitenband verwendet. Der Vollausbau erstreckt sich heute auf 16 Supergruppen mit 960 Kanälen im Frequenzband 60...4028 kHz, für welches die modernen Koaxialkabelleitungen gebaut werden. Da auch die sende- und empfangsseitigen virtuellen Trägerfrequenzen der obersten Kanäle auf 2 Hz genau übereinstimmen müssen, erfordert dies vom Basisoszillator der Trägererzeugungsanlage eine Frequenzstabilität von  $10^{-6} \dots 10^{-7}$ .

Der prinzipielle Aufbau einer Endausrüstung geht aus Fig. 7 hervor. In der ersten Modulationsstufe KM werden 12 Gespräche in die Frequenzlage 60...108 kHz versetzt. Die anschliessende Gruppenmodulation bildet aus 5 B-Gruppen die Supergruppe im Frequenzband 312...552 kHz. Mit Hilfe der letzten Stufe, der Supergruppenmodulation, erhalten die Basissupergruppen ihre endgültigen Frequenzlagen.



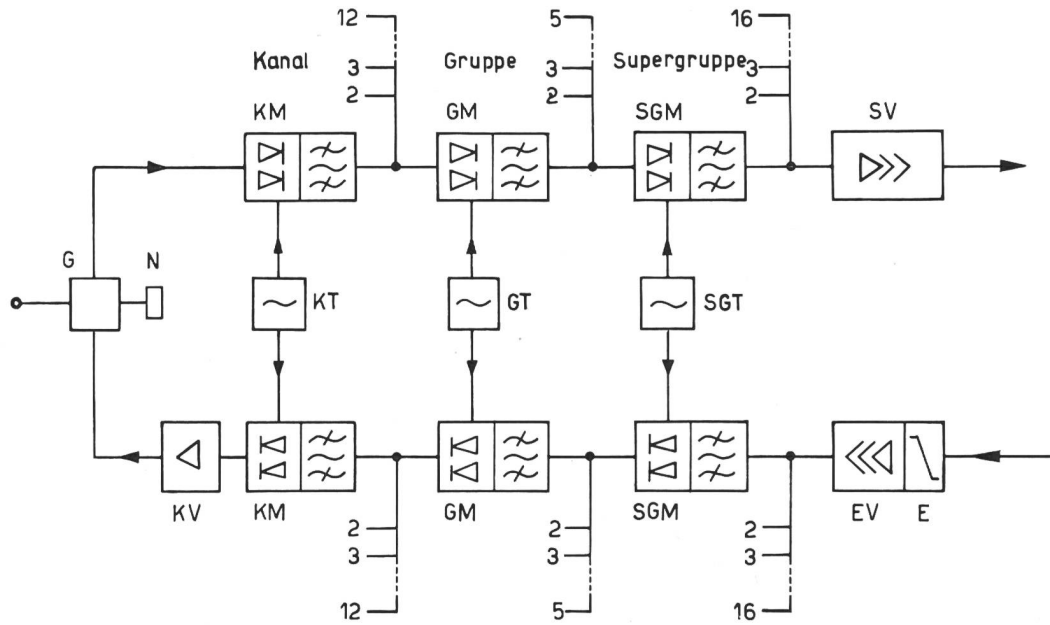


Fig. 7. Schematischer Aufbau einer Endausrüstung für Mehrfachausnützung von Koaxialkabeln

KM = Kanalmodulation; GM = Gruppenmodulation; SGM = Supergruppenmodulation; KT, GT bzw. SGT = Kanal-, Gruppen- bzw. Supergruppenträger

Auf der Empfangsseite vollziehen sich die gleichen Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge. Das ankommende Nachrichtenspektrum durchläuft den Kabelentzerrer E und Empfangsverstärker EV und wird anschliessend in der Supergruppen-, Gruppen- und Kanalfrequenzumsetzung in die Audiokanäle zerlegt. Der Kanalverstärker KV verstärkt das Sprachspektrum auf den erforderlichen Pegel und gibt es über die Gabel an die Zweidrahtleitung ab.

Zufolge der grossen Anhäufung von Telefongesprächen auf einer Leitung kommt der Entnahme und dem Einführen von Supergruppen oder Gruppen in den Verzweigungspunkten grosse Bedeutung zu. Bei der Lösung dieser Aufgabe bereite insbesondere der Bau genügend steiler und temperaturkonstanter Filter Schwierigkeiten, da der relative Frequenzabstand zwischen den Supergruppen klein ist. In den letzten Jahren sind diese Fragen eingehend studiert und verschiedene Lösungen ausgearbeitet worden.

Die eine Methode besteht darin, im Verzweigungspunkt alle Supergruppen auf die Basissupergruppen zu modulieren bzw. zu demodulieren. Ein Supergruppenbandfilter mit dem Durchlassbereich von 312...552 kHz sorgt für die einwandfreie Ausiebung des Frequenzbandes. Dies erlaubt dann, die Supergruppen über entsprechende Frequenzumsetzer in den gewünschten neuen Kombinationen zusammenzuschalten und auf die weiterführenden Leitungen zu geben. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass im Verzweigungspunkt alle Supergruppen demoduliert und, wenn sie weiterlaufen, anschliessend wieder moduliert werden müssen. Ähnlich ist das Vorgehen, wenn an Stelle von Supergruppen nur Gruppen (12 Kanäle) entnommen bzw. eingeführt werden sollen. Die Basissupergruppen müssen in einer weiteren Modulationsstufe auf das Gruppenstadium gebracht

werden, wo Gruppenbandfilter des Bereiches 60...108 kHz für die Ausiebung des Nutzbandes sorgen [11].

Diese Verfahren werden angewendet, wenn auf die vollständige, frequenzmässige Ausnützung des Koaxialkabels Wert gelegt wird bzw. gelegt werden muss. Ist dies nicht der Fall, so kann die Schaltung so gewählt werden, dass man für die zwischen den Ämtern der Breitbandleitung benötigten Sprechwege verschiedene Supergruppen benützt (Fig. 8). Für 60

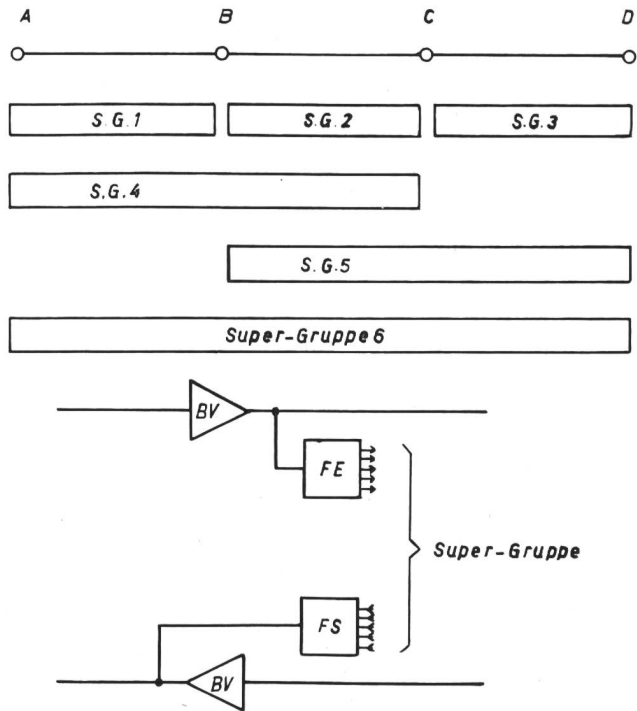


Fig. 8. Entnahme bzw. Einführen von Supergruppen auf koaxialen Leitungen durch paralleles Anschalten an die Leitung FE bzw. FS = Empfangs- bzw. sendeseitige Supergruppenumsetzung; BV = Breitbandverstärker

Kanäle zwischen A und B wird zum Beispiel die Supergruppe 1 verwendet, zwischen B und C die Supergruppe 2 usw. Die betreffenden Supergruppen werden durch paralleles Anschalten der Frequenzumsetzer an die Breitbandleitung entnommen bzw. eingeführt, wie in Fig. 8 unten dargestellt. Benötigt man am betreffenden Abzweigpunkt nicht alle 60 Kanäle, so können die übrigbleibenden an einer andern Stelle ausgeführt werden. Ebenso ist es natürlich möglich, zwischen einzelnen Zentren mehr als eine Supergruppe einzuschalten.

Bei einem weiteren Verfahren wird wieder danach getrachtet, jeglichen Verlust an Frequenzband zu vermeiden. Wie bei der zweiten Methode, entnimmt man die Supergruppe durch paralleles Anschalten an die Leitung, lässt sie jedoch nicht weiter laufen, sondern unterdrückt den betreffenden Frequenzbereich mit einem Bandsperrfilter, so dass er im nachfolgenden Abschnitt der Leitung wieder verwendet werden kann. Die Idee dieses Verfahrens ist in Fig. 9 dargestellt.

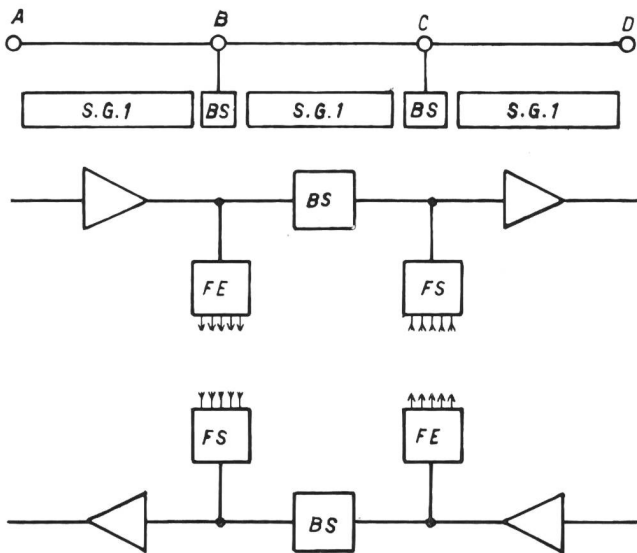


Fig. 9. Entnahme bzw. Einföhrung von Supergruppen auf koaxialen Leitungen mit Hilfe von Bandsperren (Band-Stop-Methode) FE bzw. FS = Empfangs- bzw. sendeseitige Supergruppenumsetzung; BS = Bandsperrfilter für Supergruppe

Die für dieses Verfahren notwendigen Bandsperren sind heute nur für die zwei untersten Supergruppen ohne Kanaleinbusse realisiert. Bei Supergruppen höherer Frequenzlage können einige Kanäle in den Randgebieten wegen der auftretenden Dämpfungsverzerrungen der Filter nicht benützt werden.

*Bildung eines Musikkanals*

Es liegt auf der Hand, die Trägeranlagen ebenfalls zur Übertragung von Musik heranzuziehen, indem man an Stelle von drei oder vier Gesprächskanälen einen Musikstromkreis mit einem Frequenzband von 30...10 000 bzw. 15 000 Hz einschleibt.

Die Übermittlung nach dem Einseitenbandverfahren stellt jedoch an das Bandfilter, das das gewünschte

Seitenband aussiebt, beträchtliche Anforderungen an Flankensteilheit und zeitlicher Konstanz, weil der Abstand zwischen den beiden Seitenbändern nur 60 Hz beträgt. Dies führt zu komplizierten und teuren Filtern [12, 13].

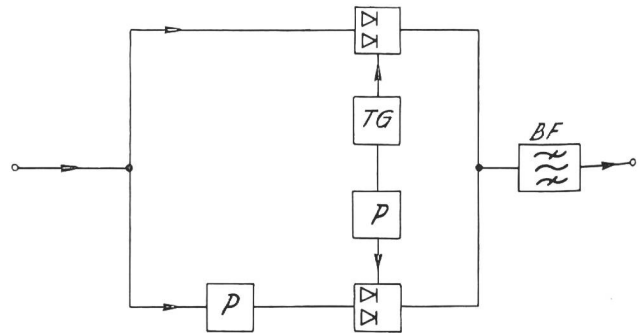


Fig. 10. Einseitenbandmodulator  
P = Phasenschieber 90°  
TG = Trägergenerator  
BF = Bandfilter

Ein anderes, einfacheres Verfahren benützt den sogenannten Einseitenbandmodulator (Fig. 10). Es handelt sich im Prinzip um zwei parallel geschaltete Modulatoren, wobei beim einen Träger- und Signalfrequenz mit einer Phasenverschiebung von 90° zugeführt werden. Dadurch tritt am Ausgang für ein Seitenband Phasenopposition mit der vom andern Modulator gelieferten Spannung auf, und das betreffende Seitenband wird unterdrückt. Da jedoch die 90°-Phasenverschiebung nicht über das ganze Musikfrequenzband mit der erforderlichen Genauigkeit aufrechterhalten werden kann, übernimmt ein Bandfilter BF die Unterdrückung der höheren, über ungefähr 1000 Hz gelegenen Frequenzen des Seitenbandes.

Nach den Empfehlungen des CCIF sind folgende Frequenzlagen für die Musikübertragung vorgesehen:

Gruppe	Frequenzband kHz	Übertragung in
A I	24...36	Regellage
II	44...56	»
B I	84...96	Kehrlage
II	64...76	»

Dabei sind die unter I aufgeführten Frequenzbänder zu bevorzugen.

**3. Breitbandübertragungswege**

Die Breitbandübertragungswege haben die Aufgabe, die von den Endausrüstungen gelieferten Frequenzspektren möglichst unverzerrt zu übertragen. Während früher ausschliesslich die drahtgebundene Übertragung in Frage kam, steht heute auch der drahtlose Weg im Vordergrund des Interesses.

Für die drahtgebundene Mehrfachübertragung stehen, wie schon erwähnt, zwei Wege offen:

Der eine benützt die symmetrisch aufgebauten Kabelleitungen mit relativ kleinen Kanalzahlen je Aderpaar, aber mehrpaarigen Kabeln, der andere greift zum unsymmetrisch aufgebauten koaxialen Leiter mit hoher Kanalzahl.

### 3. 1. *Breitbandleitungen symmetrisch aufgebauter Kabel*

Die Mehrfachausnützung symmetrisch aufgebauter Kabelleitungen setzte ein, als man leicht und sehr leicht pupinisierte Aderpaare mit Grenzfrequenzen von rund 10 bzw. 20 kHz zur Übertragung von ein bis drei Trägerkanälen neben dem Audiokanal heranzog.

Das Bedürfnis nach weiterer Steigerung der Kanalzahl führte schliesslich zum Verzicht auf jegliche Pupinisierung. Dadurch fällt die den nutzbaren Frequenzbereich stark einschränkende Grenzfrequenz fort; zugleich erzielt man ein Optimum hinsichtlich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Sprechströme (ungefähr 200 000 km/s), so dass für die grössten praktisch vorkommenden Distanzen durch Echoerscheinungen keine Schwierigkeiten zu befürchten sind. Die höhere Leitungsdämpfung und der mit zunehmender Frequenz beträchtliche Dämpfungsanstieg wird dabei bewusst in Kauf genommen und durch vermehrten Einsatz von Leitungsverstärkern ausgeglichen.

Es gibt dabei zwei Möglichkeiten. Entweder benützt man entpupinisierte Aderpaare gewöhnlicher, ursprünglich nur für Tonfrequenzbetrieb vorgesehener Fernkabel, oder aber man verwendet besondere, für den Trägerbetrieb gebaute sogenannte Trägerkabel.

Über die Verwendbarkeit von symmetrisch verseilten Kabelleitungen für die Übertragung höherer Frequenzen sind ausser der Störfreiheit vor allem die Dämpfungs- und Nebensprechverhältnisse entscheidend.

Auf entpupinisierten Aderpaaren gewöhnlicher Fernkabel gelingt es heute 12...24 Kanäle, das heisst ein Frequenzband von 60 bzw. 108 kHz zu übertragen. Dabei werden im allgemeinen die beiden Gesprächsrichtungen im Gleichlageverfahren in getrennten Kabeln geführt, weil die zu geringen Nahnebensprechdämpfungen einen Gegenrichtungsbetrieb im gleichen Kabel nicht erlauben. Zur Erreichung der für das Fernnebensprechen erforderlichen Dämpfungswerte benützt man Abgleichnetzwerke am Ende jedes Verstärkerfeldes, oder man macht für den Hochfrequenzbetrieb einen neuen Kreuzungsausgleich. Oft müssen beide Massnahmen zugleich angewendet werden [14].

Den vorerwähnten Frequenzbereich bei gewöhnlichen Fernkabeln noch mehr zu erweitern, ist aus verschiedenen Gründen nicht zweckmässig und praktisch kaum durchführbar. Denn da diese Kabel nicht für Hochfrequenzbetrieb gebaut wurden, verschlechtern sich die Kopplungsverhältnisse mit zu-

nehmender Frequenz stark und führen zu ungenügenden Nebensprechdämpfungen. Auch das sogenannte sekundäre Nebensprechen, das in den Zwischenstationen über die nicht für den Trägerbetrieb benützten und daher direkt durchgeschalteten Aderpaare auftritt, macht sich mit zunehmender Frequenz in steigendem Masse störend bemerkbar. Ausserdem ist die Dämpfungszunahme mit steigender Frequenz verhältnismässig gross, so dass auch von dieser Seite der Mehrfachausnützung Grenzen gesetzt sind.

Diese Tatsache führte zum Bau der besonders für den Trägerbetrieb ausersehenen Trägerkabel. Es handelt sich dabei nach wie vor um ein aus Vierern symmetrisch aufgebautes Kabel mit Papier-Luftraum-Isolation, bei dem man jedoch vor allem die Herabsetzung der Dämpfung bei höheren Frequenzen und die Verbesserung der Nebensprechverhältnisse anstrebte. Die Erkenntnisse, die bei der Untersuchung der Kabeleigenschaften bei hochfrequenter Ausnützung erhalten wurden, dienten als Grundlage für den Aufbau des neuen Kabeltyps. Dabei sind vor allem folgende Erscheinungen wichtig:

Die Dämpfung ist bekanntlich im in Frage kommenden Frequenzgebiet genügend genau bestimmt durch die Formel

$$\beta = \frac{R}{2} \cdot \frac{1}{Z_0} + \frac{G}{2} \cdot Z_0$$

wobei R und G den Widerstand bzw. die Ableitung je km und  $Z_0$  den Wellenwiderstand bedeuten.

Während  $Z_0$  nur schwach frequenzabhängig ist, steigen sowohl R wie G mit zunehmender Frequenz stark an. Der die Dämpfung in erster Linie bestimmende Widerstand R wird massgebend beeinflusst durch:

- den Skineffekt und die Nähwirkung zwischen Hin- und Rückleitung;
- die Wirbelstrombildung in den benachbarten Ver-seilelementen und im Bleimantel.

Die dielektrischen Verluste im Papier bewirken, dass bei höheren Frequenzen auch das Glied  $\frac{G}{2} \cdot Z_0$  immer mehr in Erscheinung tritt.

Besondere Schwierigkeiten bereitet die Beherrschung der Nebensprechverhältnisse. Diese ergeben sich aus den kapazitiven und den bei höheren Frequenzen immer stärker in Erscheinung tretenden magnetischen Kopplungen. Während die ersten weitgehend frequenzunabhängig sind und daher nach den bekannten Methoden bei Tonfrequenzkabeln behandelt werden können, zeigen die letzteren eine starke Frequenzabhängigkeit. Die gleichen Ursachen, die zu einer Erhöhung der Dämpfung führen, sind auch hier massgebend beteiligt, nämlich der als Nähwirkung zwischen den beiden Drähten einer Leitungsschleife in Erscheinung tretende Skineffekt und vor allem der Einfluss der Umgebung, besonders des Bleimantels [15, 16].

Misst man das Nebensprechen zwischen zwei Stromkreisen, so kann das Auftreten eines Tauscheffektes beobachtet werden, das heisst, die Dämpfungswerte sind nicht gleich, wenn man störende und gestörte Leitung vertauscht. Im Vierer ist dieser Effekt auf eine durch die spiralförmige Verdrehung der vier Leiter entstehende Kopplung zurückzuführen. Sie nimmt proportional mit der Länge zu und kann durch geeignetes Auskreuzen in Antispiralschaltungen unschädlich gemacht werden.

Bei den Tauscheffekten der Nebenviererkopplungen sind es die ungleichen Phasendrehungen, hervorgerufen durch Streuungen im Aufbau der einzelnen Stromkreise, in erster Linie der Betriebskapazität, die die Unsymmetrie verursachen. Durch geeignetes Auskreuzen nach Laufzeitdifferenzen gelingt es auch hier, den unerwünschten Effekt zu verkleinern.

Um den Nähwirkungseffekt und den Einfluss benachbarter Vierer und des Bleimantels zu reduzieren, verwendet man beim Trägerkabel stärker isolierte Einzeladern und umgibt auch den Vierer mit einer dickeren Isolierschicht. Der Aufbau als Sternvierer erweist sich dabei als am zweckmässigsten.

Einwandfrei fabrizierte Trägerkabel hoher Gleichmässigkeit bezüglich ihrer elektrischen Werte erlauben, bei Anwendung geeigneter Kreuzungsverfahren und einem aus Kondensatoren bestehenden Abgleichnetzwerk in jedem Verstärkerfeld, das nutzbare Frequenzband auf 200...250 kHz auszudehnen. Die PTT-Verwaltung Hollands leistete auf diesem Gebiet Pionierarbeit.

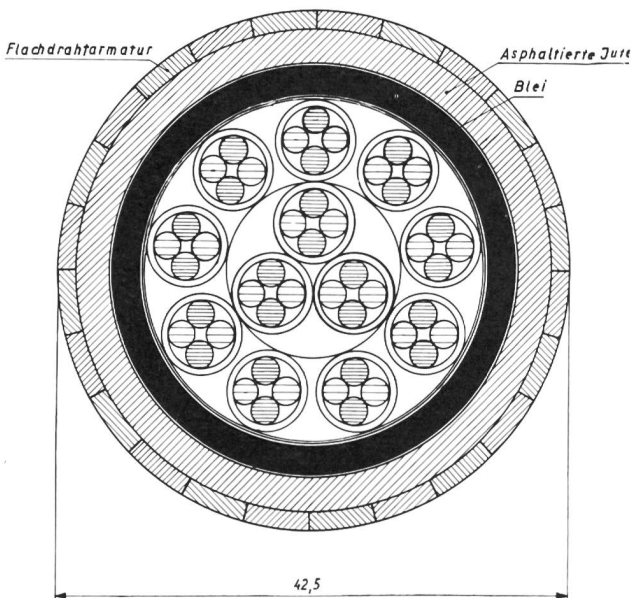


Fig. 11. Aufbau eines Trägerkabels  $24 \times 2$  1,3 mm

Fig. 11 zeigt den Aufbau des in der Schweiz verwendeten Trägerkabels. Es enthält 12 Sternvierer mit 1,3 mm Aderdurchmesser und ist für die Übertragung eines Frequenzbandes bis zu 108 kHz (24-Kanal-Betrieb) vorgesehen. Auf Grund durchgeführter Untersuchungen werden nun die zukünftigen Trägerkabel-

anlagen ebenfalls für 48-Kanal-Betrieb abgeglichen. Damit steigt die Kapazität eines solchen Kabels auf 1152 Stromkreise. Für die beiden Gesprächsrichtungen werden stets zwei Kabel verlegt (Vierdrahtbetrieb im Gleichlageverfahren).

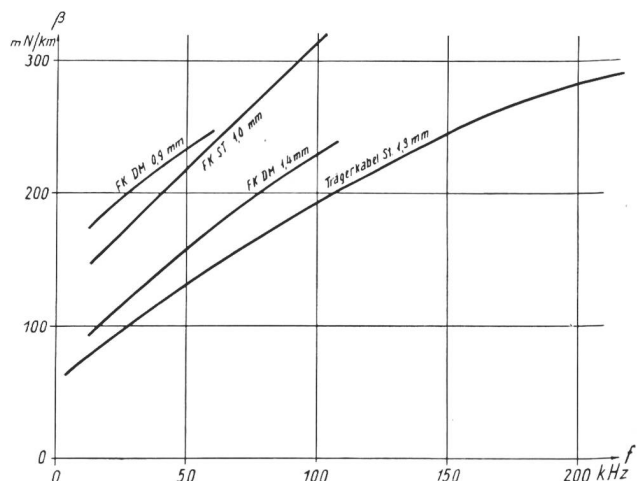


Fig. 12. Wellendämpfung verschiedener Kabeltypen

FK = Gewöhnliches Fernkabel  
DM = Dieselhorst-Martin-Verseilung  
St = Sternviererveisilung

Aus Fig. 12 sind die Dämpfungsverhältnisse (Wellendämpfung) verschiedener Kabeltypen ersichtlich. Die kleineren Verluste des Trägerkabels gegenüber denjenigen entpupinierter Aderpaare gewöhnlicher stern- oder DM-verseilter Fernkabel sind deutlich erkennbar. Interessant ist auch die Aufteilung in Längs- und Querverluste. Während zum Beispiel beim Trägerkabel bei 60 kHz der durch die Ableitung bedingte Querverlust  $\beta' = \frac{G}{2} \cdot Z_0$  nur 8% der Totalverluste ausmacht, steigt er bei 200 kHz auf rund 20%.

Der Ersatz des Papiers durch verlustfreie Hochfrequenzisierstoffe dürfte demnach nicht uninteressant sein. Versuche auf diesem Gebiet sind im Gange.

#### Leitungsverstärker

Da sich die Fremdspannungen auf Trägerkabeln in den für Trägerausnutzung vorgesehenen Frequenzbereichen praktisch auf das Wärme- und Röhrenrauschen beschränken, können für das einzelne Verstärkerfeld viel höhere Dämpfungen zugelassen werden als beispielsweise bei der Tonfrequenzübertragung. Üblich sind Werte zwischen 6 bis 7 N bei den oberen Grenzfrequenzen. Dies führt auf die in Fig. 13 dargestellten Verstärkerfeldlängen bei Trägerkabeln von 1,3 mm Aderdurchmesser.

Die Verstärker sind zwei-, meistens dreistufig aufgebaut (Fig. 14). Um die hohen Anforderungen an die Linearität und Stabilität gegen Schwankungen der Speisespannungen zu erfüllen, müssen sie stark gegengekoppelt sein. Minimalwerte von 3...4 N sind üblich.

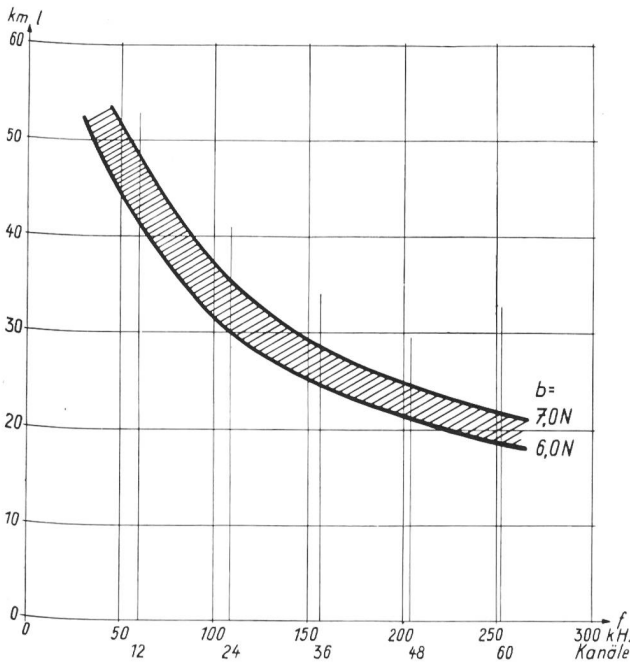


Fig. 13. Verstärkerfeldlänge in Funktion der oberen Grenzfrequenz (Kanalzahl) beim Trägerkabel Fig. 11

Entzerrung der temperaturbedingten Dämpfungsänderungen

Die Dämpfung der Kabelleitungen ist temperaturabhängig. Fig. 17 zeigt den Verlauf des Temperaturkoeffizienten  $\frac{d\beta}{dT}$  in Funktion der Frequenz für ein

Trägerkabel mit 1,3 mm Aderdurchmesser. Wie ersichtlich, weist er bei ungefähr 12 kHz ein Maximum auf. Das anschliessende Kleinerwerden rührt von dem starken Abfall des Temperaturkoeffizienten von R mit wachsender Frequenz (Skinneffekt) her. Das Minimum liegt bei ungefähr 40 kHz, anschliessend steigt  $\frac{d\beta}{dT}$  kontinuierlich als Folge des zunehmenden

Temperaturkoeffizienten von G. Kabel mit dünnern Aderdurchmessern zeigen eine grössere Temperaturabhängigkeit, die zum Beispiel bei 0,9 mm fast auf den doppelten Wert ansteigt.

In unseren Verhältnissen hat man im Verlaufe eines Jahres mit Schwankungen der Kabeltemperatur von ungefähr  $\pm 10^\circ C$  zu rechnen. Demzufolge kann bei 12- und grösstenteils auch noch bei 24-Kanal-Betrieb meistens auf eine automatische Pegel-

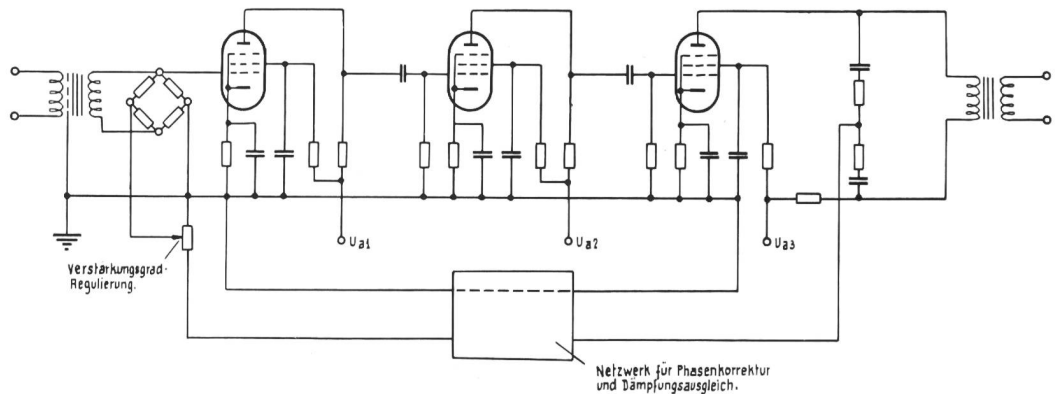


Fig. 14. Prinzipschaltbild eines Breitbandverstärkers für Trägerbetrieb

Fig. 15 zeigt die Klirrdämpfung eines Leitungsverstärkers in Funktion der Ausgangsleistung. Die zweite und dritte Harmonische überwiegen, liegen jedoch im Arbeitsbereich weit unter 1‰.

Die Entzerrung der Kabeldämpfung wird entweder durch dem Verstärker vorgeschaltete Netzwerke — meistens überbrückte T-Glieder nach Fig. 16 — oder mit Hilfe einer frequenzabhängigen Gegenkopplung bewerkstelligt. Die letztere Methode hat den Vorteil der besseren Geräuschunterdrückung (höhere Gegenkopplung bei tiefen Frequenzen).

Da jedoch die für die Anpassung an die verschiedenen Verstärkerfeldlängen erforderlichen regulierbaren Netzwerke im Gegenkopplungszweig aus Stabilitätsgründen nicht beliebt sind, teilt man heute vielfach die Entzerrung auf. Der Verstärker erhält hierbei einen ansteigenden, fest eingestellten Frequenzgang, entsprechend der kürzesten zu erwartenden Verstärkerfeldlänge, den Rest der Entzerrung besorgen vorgeschaltete einstellbare Netzwerke.

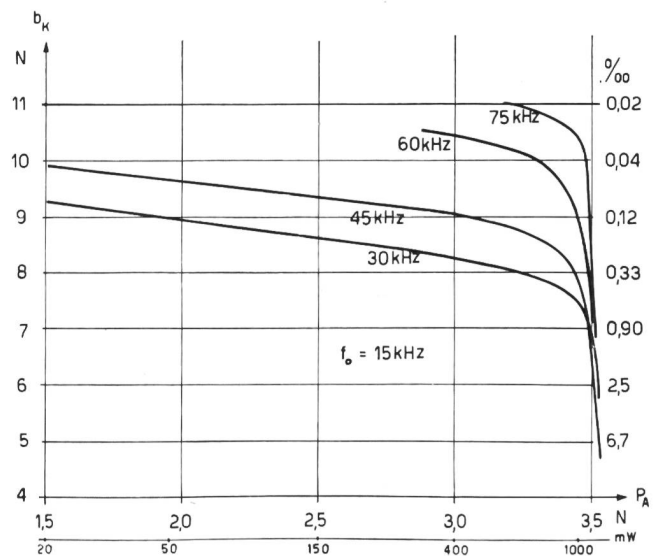


Fig. 15. Klirrdämpfung eines Breitbandverstärkers für Trägerbetrieb

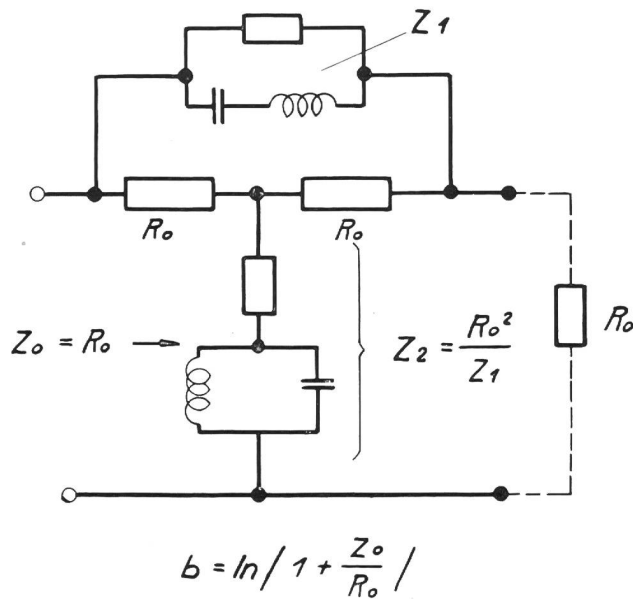


Fig. 16. Entzerrnetzwerk für Trägerkabel

regulierung verzichtet werden, sofern die Leitungen nicht allzu lang sind. Geht man jedoch auf 36- oder 48-Kanal-Betrieb über und erhöht damit die obere Grenzfrequenz auf 156 bzw. 204 kHz, so müssen Massnahmen für eine automatische Pegelregulierung der Leitungen getroffen werden.

Wie aus Fig. 17 hervorgeht, ist dabei auch die Frequenzabhängigkeit des Temperaturkoeffizienten zu berücksichtigen. Eine flache, frequenzunabhängige Pegelkorrektur ergäbe noch keinen befriedigenden Ausgleich.

Zur Lösung dieser Aufgabe werden verschiedene Wege beschritten. Man kann zur Regulierung zum Beispiel die Pegel von ein oder zwei geeignet gewählten Pilotfrequenzen benützen. Eine andere Lösung beruht auf der Temperaturabhängigkeit des Gleichstromwiderstandes der Kabeladern, indem dieser Effekt mit Hilfe einer Brückenschaltung zur Verstärkungsgradregulierung herangezogen wird.

Um die Regulierungsausrüstungen in den Zwischenverstärkerämtern bei einer grossen Zahl von Trägerleitungen zu vereinfachen, werden meistens alle Leitungen nach den Pegel- bzw. Temperaturverhältnissen eines ausgewählten Aderpaares gemeinsam reguliert. Die individuelle Regulierung erfolgt dann nur in den Endstationen.

3.2. Koaxiale Leitungen

Die wirtschaftliche Fernübertragung breiter Frequenzbänder auf symmetrischen, papierlufttraum-isolierten Kabeln ist frequenzmässig zur Zeit auf ungefähr 200...250 kHz begrenzt. Einerseits nehmen bei noch höheren Frequenzen besonders die dielektrischen Verluste stark zu, andererseits wird die Aufrechterhaltung genügend hoher Nebensprechdämpfungen immer schwieriger.

Für die Übertragung noch breiterer Frequenzbänder verwendet man daher heute einen andern Kabel-

typ, das sogenannte Koaxialkabel (Fig. 20). Der Übertragungsvorgang der Hochfrequenz spielt sich zwischen der inneren Oberfläche des rohrförmigen Aussenleiters und der äusseren Oberfläche des zentralen Innenleiters ab.

Ganz im Gegensatz zu dem im Fernkabelbetrieb bisher üblichen symmetrischen Aufbau der Leitungen, auf den man im Interesse eines genügenden Schutzes vor äusseren Störungen elektrischer Natur nicht verzichten kann, hat sich hier der einfachere unsymmetrische Aufbau durchgesetzt. Der Grund hierfür liegt darin, dass der Skinneffekt, ausser seinem Nachteil der Erhöhung der Verluste, den Leiter bei Frequenzen von ungefähr 50 kHz an aufwärts sehr wirksam gegen äussere hochfrequente Störungen schützt. Die Nebensprechkopplungen nehmen zufolge des gleichen Effektes mit wachsender Frequenz sogar ab, so dass es ohne weiteres möglich ist, Kabel mit mehreren koaxialen Leitern zu bauen und sie paarweise im Gegenrichtungsbetrieb (als Hin- und Rückleitung des Vierdrahtkreises) zu betreiben.

Im Verlauf der Entwicklung wurden verschiedene Ausführungsformen mit unterschiedlichem Durchmesser in bezug auf ihre technische und wirtschaftliche Verwendbarkeit geprüft. Bezüglich Dämpfung erhalten wir bekanntlich ein Optimum, wenn das Durchmesser Verhältnis (Innendurchmesser des Aussenleiters zu Innenleiterdurchmesser) einen bestimmten Wert, der bei Kupferleitern bei ungefähr 3,6 liegt, aufweist.

Von den älteren Typen erlangte das zuerst in Deutschland verlegte Breitbandkabel mit einem Innendurchmesser von 5 mm und dem innern Aussen-durchmesser von 18 mm grössere Bedeutung. In Frankreich wurde ein gleiches Kabel zwischen Paris und Toulouse in Betrieb genommen. Bei Verstärkerdistanzen von ungefähr 17 km erlaubt es die Übertragung eines Frequenzbandes bis zu 4 MHz (Übertragung von 1000 Kanälen).

Die englische und amerikanische Technik bevorzugte indessen eher Leiter von geringerem Durchmesser. Die Beratungen im Rahmen des CCIF führten schliesslich zur Empfehlung eines Leitertyps mit 2,6 mm Innendurchmesser und 9,4 mm innerem Aussen-durchmesser. Man reduzierte demnach die Kabelabmessungen auf Kosten der Dämpfungserhöhung:

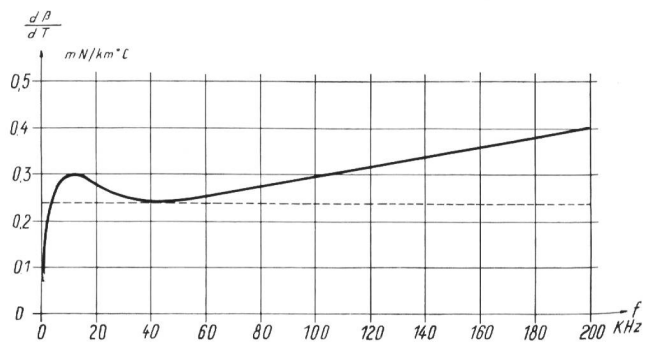


Fig. 17. Temperaturkoeffizient  $\frac{d\beta}{dT}$  eines 1,3-mm-Trägerkabels

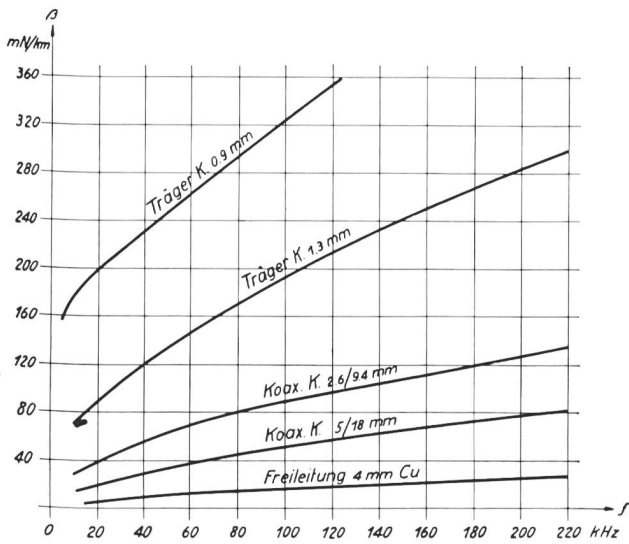


Fig. 18. Wellendämpfung von Träger- und Koaxialkabeln

Für die Übertragung eines Frequenzbandes bis zu 4 MHz ergeben sich bei diesem Kabeltyp Verstärkerfeldlängen von 8...10 km [10].

Fig. 18 zeigt für verschiedene koaxiale Leitertypen die Dämpfungsverhältnisse, verglichen mit denjenigen zweier gebräuchlicher Trägerkabel 0,9 und 1,3 mm im Frequenzband bis 200 kHz. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der Vergleich mit einer 4-mm-Freileitung. Aus Fig. 19 sind die Dämpfungsverhältnisse bis zu Frequenzen von 5 MHz ersichtlich. Als Vergleich ist auch noch die Dämpfung einer symmetrischen Kabelader von 1,4 mm Durchmesser eingezeichnet.

Dämpfungen von Breitbandkabeln

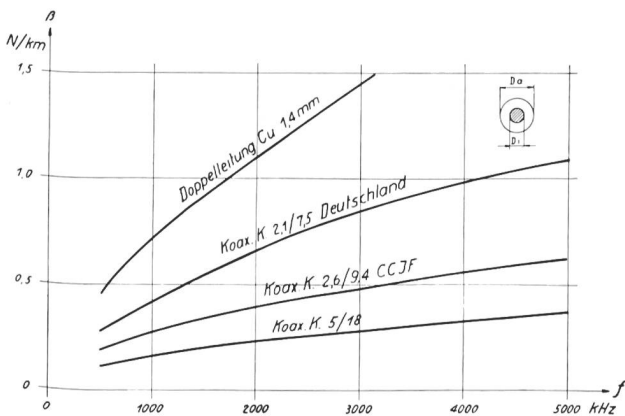


Fig. 19. Wellendämpfung von Koaxialkabeln

Die Zentrierung des Innenleiters wird heute meistens mit Scheiben aus Hochfrequenzisoliermaterial, die sich im Abstand von ungefähr 25 mm folgen, gemacht. Fig. 20 zeigt den Aufbau eines modernen Koaxialkabels, wie es von der französischen PTT-Verwaltung gegenwärtig zwischen Lyon—Marseille—Nice verlegt wird. Es enthält vier koaxiale Leiter des CCIF-Typs und zusätzlich einige Vierer für

Dienstleitungen, automatische Überwachung und Fernsteuerung der Zwischenverstärkerstationen. Die vier koaxialen Leiter werden paarweise im Gegenrichtungsbetrieb eingesetzt und erlauben den Ausbau auf die Übertragung von  $2 \times 960$  Sprechkanälen oder von Fernsehprogrammen entsprechender Bandbreite [17].

Die massive Bündelung von Stromkreisen auf Koaxialkabeln führt zu sehr grossen Anforderungen an die Betriebssicherheit der Anlagenteile, insbesondere der Breitbandverstärker. Besondere Vorsichtsmaßnahmen müssen getroffen werden, um sich gegen Störungen ausfallender Röhren oder Verstärkerenteile zu schützen.

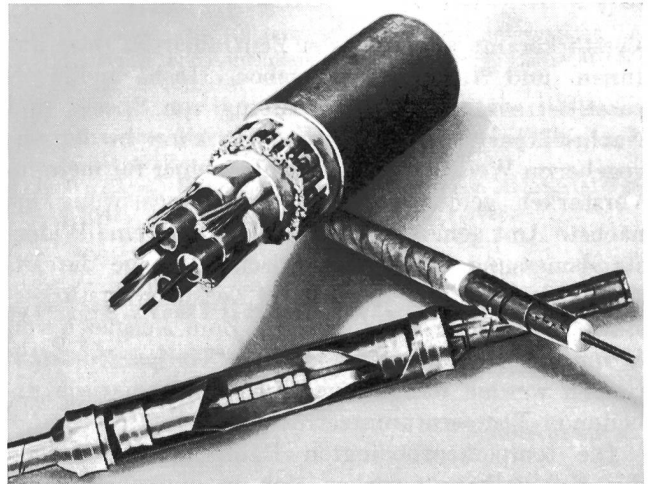


Fig. 20. Aufbau eines modernen Koaxialkabels (Frankreich)

Da Umschalteneinrichtungen mit automatischer Einschaltung von Ersatzverstärkern wegen ihrer Störanfälligkeit in den Kontakten nicht beliebt sind, greift man heute zu Verstärkern mit zwei parallel geschalteten Röhren pro Stufe, oder man baut zwei Verstärker mit gemeinsamer Gegenkopplung, wie in Fig. 21 dargestellt. Es handelt sich im vorliegenden Beispiel um das Prinzipschema des Breitbandverstärkers auf der Strecke Paris—Toulouse [10, 17].

Fällt eine Verstärkerhälfte aus, so ändert dies praktisch nichts an den elektrischen Eigenschaften des Verstärkers, so dass der Betrieb nicht gestört wird. Die Überwachung des Verstärkers geschieht mit einem ständig über die Leitung gesendeten 300-kHz-Pilot in der angedeuteten Weise. Beim Auftreten einer Unsymmetrie in den Verstärkerhälften zieht das Relais an und meldet die Störung ins nächste überwachte Amt. Diese Bauweise erlaubt es, den Röhrenwechsel oder den Ausbau und Ersatz einer Verstärkerhälfte ohne Betriebsunterbruch auszuführen.

Eine Besonderheit liegt in der Speisung der Breitbandverstärker, die über die koaxialen Leiter vom nächstgelegenen überwachten Verstärkeramt aus erfolgt, wie dies in Fig. 22 angedeutet ist. Der Netzwechselstrom, zum Beispiel 380 V 50 Hz, wird vom

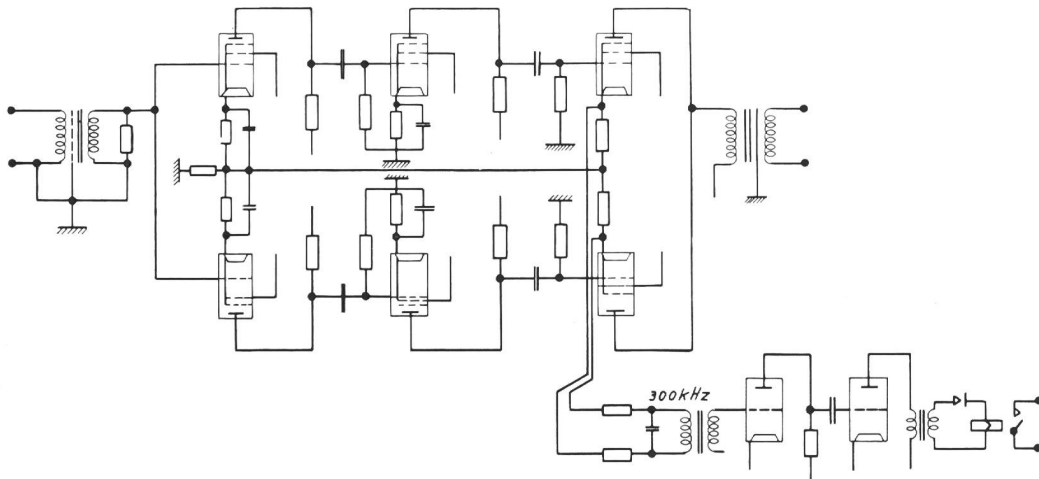


Fig. 21.  
Prinzipschaltbild eines  
Leitungsverstärkers für  
Koaxialkabel

Verstärkerarmt aus auf zwei Zentralleitern oder auf Innen- und Aussenleiter gegeben. Hoch- und Tiefpassfilter sorgen für die Trennung von Speise- und Nachrichtenstrom. Der Fernalarm kann in der angegebenen Weise durch Kurzschluss einer für mehrere Verstärker gemeinsamen Überwachungsleitung ins nächste Amt gemeldet werden, wo durch eine Widerstandsmessung bzw. automatische Anzeige die Distanz, das heisst die gestörte Zwischenverstärkerstation, ausfindig gemacht wird. Zum Ausgleich von Dämpfungsschwankungen zufolge Temperaturänderungen werden ferngesteuerte oder automatisch arbeitende Temperaturentzerrer eingesetzt.

Die temperaturbedingten Dämpfungsänderungen des Koaxialkabels wirken sich in einfacher Weise wie eine Verlängerung oder Verkürzung der Verstärkerfeldlänge aus. Sie können demnach durch Ein- oder Ausschalten von Nachbildungen des Kabels ausgeglichen werden.

### 3. 3. Drahtlose Übertragungswege

Die Fortschritte in der Apparatentechnik, die auf dem Gebiete der dm- und cm-Wellen in den letzten Jahren erzielt worden sind, ermöglichen es heute, in Form von Richtstrahlverbindungen drahtlose Breit-

bandübertragungswege für die gleichzeitige Übermittlung einer grossen Zahl von Telephoniekanälen zu realisieren [18].

Ein Verfahren, das in diesem Zusammenhang besonders interessiert, besteht darin, die von Mehrkanalträgeranlagen gelieferte hochfrequente Ausgangsspannung, statt auf das Kabel, auf einen Richtstrahlsender zu geben und ihn nach einem zweckmässigen Modulationsverfahren (z. B. Frequenzmodulation) zu modulieren. Auf der Empfangsseite gibt der Richtstrahlempfänger das übertragene Signal wieder an die Empfangsseite der Trägeranlage ab, welche ihrerseits für die Zerlegung in die einzelnen Kanäle sorgt.

Mit diesem Verfahren ergibt sich der Vorteil, dass in kombinierten Mehrkanalübertragungsanlagen der Übergang vom Draht- auf den drahtlosen Weg und umgekehrt in denkbar einfachster Art, ohne Zwischenschaltung von Modulations- bzw. Demodulationseinrichtungen usw., möglich wird.

Die Anforderungen, die an die elektrischen Eigenschaften des drahtlosen Übertragungsweges gestellt werden müssen, sind natürlich dieselben wie bei den Breitbandleitungen.

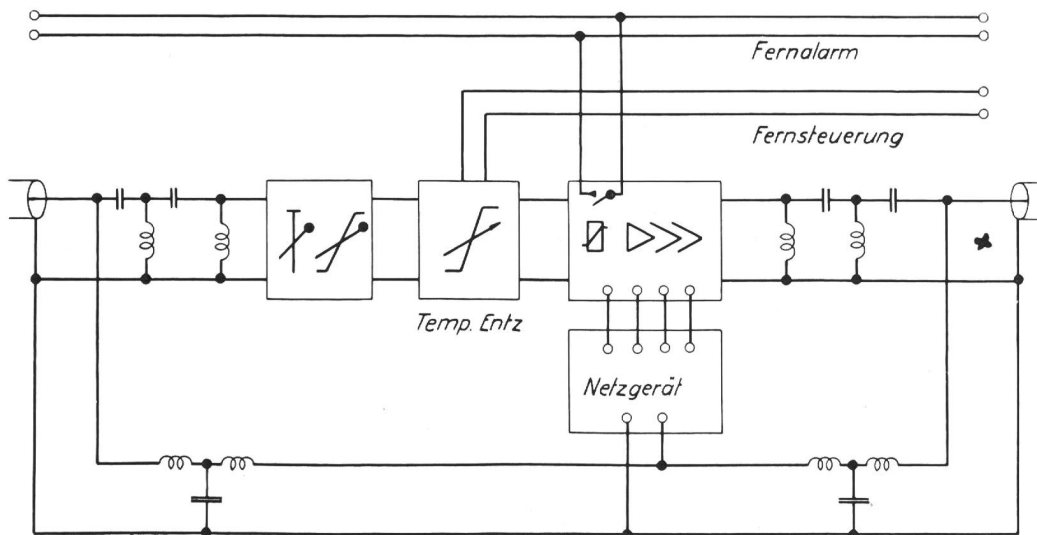


Fig. 22.  
Prinzip der Stromversorgung von Zwischenverstärkern auf Koaxialkabel-Leitungen

## Bibliographie

- [1] *H. Jacot.* Principes de la téléphonie à courants porteurs. Techn. Mitt." PTT 1945, No. 5, p. 193...203, et No. 6, p. 248...256.
- [2] *F. Locher.* Trägertelephonie. Generaldirektion PTT, Abteilung Versuche und Forschung. Bern 1946.
- [3] *H. Düll.* Das deutsche 12-Band-Trägerfrequenzsystem. Europ. Fernsprechdienst 1939, H. 51, S. 43...49.
- [4] *F. J. D. Taylor.* Carrier System No. 7. Post Office Electr. Eng. J. **34** (1941), p. 101...108; 161...168.
- [5] *Ch. Moccand.* Description d'une grosse installation de téléphonie à courants porteurs type Hasler. Hasler Mitt." 1947, Nr. 3, S. 57...69.
- [6] *G. H. Bast, D. Goedhart und J. F. Schouten.* Ein Trägerfrequenztelephoniesystem für 48 Kanäle. Philips Techn. Rdsch. 1947, Nr. 6, S. 161...171.
- [7] *M. Parmentier, J.-L. Hurault et E. Boucherot.* Système à courants porteurs 12 voies. Câbles et Transmission 1948, No. 1, p. 31...50.
- [8] *O. Henkler.* Anwendung der Modulation beim Trägerfrequenzfernsprechen auf Leitungen. Leipzig 1948.
- [9] *R. A. Brockbank and C. F. Floyd.* The Unit Bay I B Coaxial Cable Transmission System. Post Office Electr. Eng. J. **38** (1945), p. 43...47; 82...87.
- [10] *R. Sueur.* Les liaisons à grande distance par câble coaxial et leur évolution. Onde électr. **28** (1948), p. 186...199.
- [11] *C. F. Floyd.* Through-Group Working in the Coaxial Cable Network. Part. I. Post Office Electr. Eng. J. **40** (1947), p. 57...62.
- E. F. S. Clarke and T. F. Reed.* Trough-Group Working in the Coaxial Cable Network. Part II. Post Office Electr. Eng. J. **40** (1947), p. 109...114.
- [12] *R. A. Leconte, D. B. Penick, C. W. Schramm, A. J. Wier.* A Carrier System for 8000-Cycle Program Transmission. Bell Syst. Techn. J. **28** (1949), No. 2, p. 165...180.
- [13] *F. S. Farkas, F. J. Hallenbeck, F. E. Stehlik.* Band Pass Filter, Band Elimination Filter and Phase Simulating Network for Carrier Program Systems. Bell. Syst. Techn. J. **28** (1949), No. 2, p. 196...220.
- [14] *Hans Schmid.* Die Probleme beim Trägerbetrieb auf älteren Fernkabeln. Österreichische Zeitschrift für Telegraphen-, Telefon-, Funk- und Fernstechnik 1948, H. 7/8, S. 109...121.
- [15] *G. Wuckel.* Komplexe magnetische Nebensprechkopplungen in Fernsprechkabeln. Elektr. Nachr.-Techn. **11** (1934), H. 5, S. 157...171.
- [16] *H. Kaden.* Das Nebensprechen zwischen unbelasteten Leitungen in Fernsprechkabeln. Europ. Fernsprechdienst 1938, H. 49, S. 173...181.
- [17] *R. Sueur.* La technique moderne des télécommunications sur câbles. Rev. générale de l'Electricité **57** (1948), No. 12, p. 515...527.
- [18] *W. Klein.* Systeme der Ultrakurzwellen-Mehrkanal-Telephonie. Bull. SEV 1948, Nr. 17, S. 571...588.

## Formule approximative pour les courbes d'intensité du champ nocturne établies par le CCIR

(d'après la formule de l'onde cylindrique de Weyrich)

C. Glinz, Berne

621.396.81.001.4

**Résumé.** La première partie récapitule les données rassemblées dans les documents des différentes conférences du Comité Consultatif International des Radiocommunications sur la propagation des ondes radioélectriques. Dans la seconde partie, on essaie d'appliquer une théorie de R. Weyrich sur le rayonnement d'une antenne finie entre deux plans parfaitement conducteurs au cas des ondes de 2000 à 200 m se propageant entre le sol et l'ionosphère. Il résulte d'effets d'interférences et de superposition une onde cylindrique dont le champ varie comme  $1/\sqrt{r}$ . Si l'on introduit, au moyen de la fonction  $f(\rho)$  de Sommerfeld, l'amortissement tout d'abord négligé, on obtient des formules qui, pour les grandes valeurs de  $r$ , peuvent valoir comme approximation des courbes d'intensité du champ nocturne.

L'article original a paru en allemand dans le Bulletin technique n° 4/1949, pages 178...182.

**Zusammenfassung.** Im ersten Teile werden die Angaben über die Ausbreitung der Radiowellen zusammengefasst, die in den Akten der verschiedenen Konferenzen des Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) enthalten sind. Im zweiten Teile wird versucht, eine Theorie von R. Weyrich über das Strahlungsfeld einer endlichen Antenne zwischen zwei vollkommen leitenden Ebenen auf den Wellenbereich 2000...200 m, zwischen Erdoberfläche und Ionosphäre, anzuwenden. Durch Interferenz und Superposition entsteht eine Zylinderwelle, deren Feldstärke mit  $1/\sqrt{r}$  abnimmt. Führt man die zunächst vernachlässigte Dämpfung auf dem Umweg über die Sommerfeldsche Funktion  $f(\rho)$  wieder ein, so lassen sich für grosse  $r$  näherungsweise Formeln angeben, die als Approximation der Nachtfeldstärkenkurve gelten können.

Die Originalarbeit in deutscher Sprache erschien in den Technischen Mitteilungen 1949, Nr. 4, S. 178...182.

### 1. Courbes d'intensité de champ établies par le CCIR

La formule de Hertz pour l'onde sphérique est le fondement des lois théoriques de propagation des ondes électromagnétiques. Si une courte antenne verticale, dont la hauteur est inférieure à  $\lambda/4$ , se trouve sur un sol absolument conducteur, on a d'après Abraham:

$$E_o = \frac{300}{r/\text{km}} \cdot \sqrt{P/\text{kW}} \cdot \cos \alpha \frac{\text{mV}}{\text{m}} \quad (1)$$

Cette formule, écrite selon les normes allemandes DIN 1313, est une équation adaptée à des unités déterminées dans laquelle, par exemple, le facteur  $P/\text{kW}$  ne doit pas être considéré comme une fraction

mais comme la valeur numérique de la puissance rayonnée en kW. Selon la formule (1), l'intensité du champ électrique  $E_o$  dépend de la distance  $r$  de l'émetteur, de la puissance rayonnée  $P$  et de l'angle  $\alpha$  entre la direction d'émission considérée et la surface du sol.

En réalité, les mesures faites au sol ont donné, par rapport à la valeur idéale  $E_o$ , une intensité de champ réduite  $E$ . Par diverses méthodes on a essayé d'exprimer mathématiquement les pertes se produisant dans le milieu de transmission. Dans sa deuxième réunion, à Copenhague, en 1931, le Comité Consultatif International des Radiocommunications exa-