

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: 36 (1958)

Heft: 11

Artikel: Vielkanalsysteme längs koaxialer Kabel = Systèmes multivoies sur câbles coaxiaux

Autor: Bauer, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874448>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

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

- [1] *Mertz P.* Influence of Echos on Television Transmission. Jour. SMPTE, **60**, (1953), 572...596.
- [2] Editor *Fink D.G.* Color Television Standards. New York 1955, Chapters 6, 7.
- [3] Research Department of the British Broadcasting Corporation. Colour Television Appraisal 1956/57 Field Trials. Report No. T-067 (1957), 31.
- [4] *Bernath K.* und *Brand H.* Über den Einfluss der Mehrwegeausbreitung auf das trägerfrequente Spektrum des Fernsehsignals. Techn. Mitt. PTT 1957, Nr. 10, S. 401...412.

J. BAUER, Bern

Vielkanalsysteme längs koaxialer Kabel*

Systèmes multivoies sur câbles coaxiaux*

621.315.212

Zusammenfassung. Die Entwicklung von Übertragungssystemen für koaxiale Kabel, die sowohl für den Telephonie- als auch für den Fernsehbetrieb geeignet sind, erfolgt nach den Empfehlungen des CCITT und des CCIR. Die entsprechenden Bezugssysteme liefern die unerlässlichen Grundlagen. Das beschriebene 12-MHz-System muss in der Lage sein, gleichzeitig 2700 Gespräche oder 1200 Gespräche und 1 Fernsehprogramm übertragen zu können. Der Entwurf der notwendigen Linienverstärker ist auf die Geräuschbedingungen abgestimmt. Beim Austausch vom Fernsehprogrammen spielen neben den Dämpfung- die Laufzeiteigenschaften des Übertragungspfadens die entscheidende Rolle.

1. Einleitung

Wie jedes Trägerfrequenzsystem besteht auch ein Vielkanalsystem im Sinne der *Shannonschen* Nachrichtentheorie pro Übertragungsrichtung aus einer Sendeeinrichtung, einem Übertragungssystem, einer Empfangsschaltung und einer dieser zugeordneten Geräuschquelle. Sie tritt an die Stelle der effektiv längs des ganzen Systems verteilten, individuellen Teilquellen. Diese Konzeption kennzeichnet die Gesichtspunkte, nach denen moderne Systeme gebaut werden müssen.

Während die fundamentalen Eigenschaften der über sie vermittelten Telephonieverbindungen, wie übertragenes Frequenzband, Restdämpfung, Klirrfaktor, Laufzeit usw., durch die Endausrüstungen bestimmt werden, ist die erwähnte Geräuschquelle im wesentlichen eine Funktion des Übertragungspfadens. Er muss deshalb so ausgelegt werden, dass diese Quelle am Ende eines jeden Kanals eine Geräuschleistung erzeugt, die einen gegebenen Wert im Mittel gerade erreicht. Wird er überschritten, so ist das System technisch ungenügend dimensioniert; wird er dauernd unterschritten, so ist es, wirtschaftlich gesehen, nicht optimal ausgenutzt.

* Vortrag, gehalten an der 21. Hochfrequenztagung des SEV vom 15. November 1957 in Zürich. Mit freundlicher Erlaubnis und einigen Ergänzungen des Verfassers, entnommen dem Bulletin SEV **49** (1958), Nr. 9.

Les essais ont été faits en collaboration avec la section de la télévision des PTT. Une partie des appareils ont été mis au point par la section de recherche industrielle de l'institut de physique technique de l'Ecole polytechnique fédérale. Le récepteur mobile a été construit, dans ses parties principales, par le laboratoire de recherches et d'essais des PTT. Nous remercions ici tous ceux qui ont collaboré à la réussite des essais.

Résumé. Le développement des systèmes de transmission par câbles coaxiaux capables de transmettre soit des signaux de téléphonie, soit de télévision se base sur les recommandations du CCITT et du CCIR. Les circuits de référence fournissent les données fondamentales nécessaires. Le système à 12 MHz décrit doit être en mesure de procurer à la fois soit 2700 voies téléphoniques, soit 1200 voies téléphoniques plus un circuit de télévision. Les conditions relatives au bruit de fond fixent les caractéristiques des amplificateurs de ligne. Outre l'affaiblissement composite d'une ligne, le temps de propagation de groupe joue le rôle déterminant dans la transmission des signaux de télévision.

1. Introduction

Comme chaque système à courants porteurs, un système multivoie de téléphonie multiple, au sens de la théorie de *Shannon* sur l'information, se compose, par sens de transmission, d'une installation émettrice, d'un système de transmission, d'un dispositif récepteur et d'une source de bruit qui lui est attribuée. Cette source remplace les sources individuelles effectivement réparties le long du système. Les systèmes modernes doivent être construits d'après cette conception.

Alors que certaines caractéristiques fondamentales des communications téléphoniques transmises par ces systèmes: bande de fréquences transmise, équivalent, distorsion harmonique, temps de propagation, etc. sont déterminées par les équipements terminaux, la source de bruit est principalement fonction du canal de transmission. Celui-ci doit donc être établi de façon que cette source produise à l'extrémité de chaque voie une puissance psophométrique atteignant en moyenne une valeur donnée. Si cette valeur est dépassée, le système est insuffisamment étudié du point de vue technique; si au contraire elle n'est pas atteinte, le système n'est

* Conférence présentée à la 21^e journée de la haute fréquence, organisée par l'ASE, le 15 novembre 1957 à Zurich. Tirée du Bulletin de l'ASE **49** (1958), n° 9, et complétée avec la gracieuse autorisation de l'auteur. (Traduction).

In Trägerfrequenzsystemen bestehen die Sende- und Empfangseinrichtungen oder Endausrüstungen, wie sie auch bezeichnet werden, aus Frequenzverschiebungsgeräten, die es gestatten, ein gegebenes Signal beliebig auf der Frequenzskala zu verschieben. Die Übertragungsmittel sind im allgemeinen nicht reine Kabel- oder Richtstrahlstrecken, sondern werden je nach Aufbau des Netzes des öfters ebenfalls durch Frequenzverschiebungseinheiten unterbrochen, da es aus betrieblichen Gründen notwendig werden kann, Telephoniesignale auf ihrem Wege zwischen Quelle und Bestimmungsort in verschiedenen Frequenzlagen zu übertragen.

Bei der heutigen Vielgestaltigkeit des nationalen und des internationalen Telephonnetzes kann kein Übertragungstechniker, der vor die Aufgabe gestellt wird, Teile komplizierter Vielkanalsysteme zu entwerfen, wissen, wie seine Konstruktionen tatsächlich eingesetzt werden. Er weiss nicht, welche Länge einmal eine über sie vermittelte Verbindung haben wird und wie viele und welche Modulationsstufen dabei beteiligt sind.

Hier helfen ihm nun das Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (CCITT) und das Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR). Diese Organisationen haben für die Dimensionierung von Kabel- und Richtstrahlverbindungen sogenannte Bezugssysteme fixiert, die für bestimmte Kanalzahlen totale Länge, Zahl und Art der Modulationsstufen festlegen. Figur 1 zeigt verschiedene bereinigte und im Studium begriffene Bezugssysteme nach CCITT und CCIR.

2. Bezugssysteme

Das speziell interessierende CCITT-Bezugssystem umfasst 960 Kanäle, erstreckt sich über 2500 km

pas utilisé de manière optimum, économiquement parlant.

Dans les systèmes à courants porteurs, les dispositifs émetteurs et récepteurs, ou équipements terminaux, comme on les nomme aussi, se composent d'appareils appelés modulateurs de fréquences permettant de transposer un signal donné dans une bande de fréquences quelconque.

Les moyens de transmission ne sont pas, en général, établis seulement sur des sections de câbles ou seulement sur des liaisons par faisceaux hertziens, mais souvent, selon la structure du réseau, sur des compositions diverses reliées entre elles par des équipements de modulation. Il est donc nécessaire, pour les besoins de l'exploitation, de pouvoir transmettre les signaux téléphoniques sur diverses bandes de fréquences entre leurs points d'origine et de destination.

Avec la diversité actuelle du réseau téléphonique national et international, aucun technicien des transmissions ayant pour tâche de développer des parties de systèmes à courants porteurs compliqués ne peut savoir comment ces équipements seront utilisés. Il ignore la longueur des circuits que ces systèmes permettront un jour d'établir, le nombre et le type des étages de modulation qui participeront à la transmission.

C'est ici que le Comité consultatif international télégraphique et téléphonique (CCITT) et le Comité consultatif international des radiocommunications (CCIR) lui viennent en aide. Ces organismes ont fixé pour l'établissement des caractéristiques des circuits en câbles ou faisceaux hertziens des circuits fictifs dits de référence qui, pour un nombre donné de voies, déterminent la longueur totale, le nombre et la nature des étages de modulation. La figure 1 montre diffé-

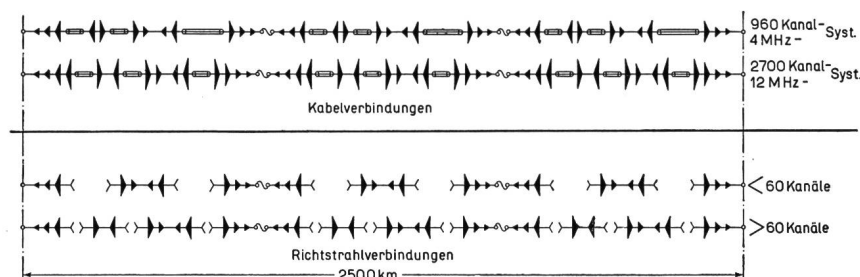


Fig. 1. Bezugssysteme nach CCITT und CCIR für Vielkanalverbindungen
Schéma de principe des circuits fictifs de référence selon le CCITT et le CCIR

- | | | | |
|---|---|---|---|
| — | Tonfrequenzkanal – Voie à fréquence vocale | ⚡ | Tertiärgruppenumsetzung (300 Kanäle)
Modulation des groupes tertiaires (300 voies) |
| ← | Kanalumsetzung – Modulation de voies | ⚡ | Richtstrahlverbindung
Liaison par faisceau hertzien |
| ← | Primärgruppenumsetzung (12 Kanäle)
Modulation des groupes primaires (12 voies) | — | — |
| ← | Sekundärgruppenumsetzung (60 Kanäle)
Modulation des groupes secondaires (60 voies) | — | — |
| | | — | Koaxialkabel – Câble coaxial
Kabelverbindungen – Liaisons par câble |

koaxiales Kabel vom Typ 2,6/9,4 mm und weist im gesamten 30 Modulationsstufen auf, nämlich: 6 Kanal-, 12 Primärgruppen- und 18 Sekundärgruppenumsetzungen. Die weiteren Empfehlungen des CCITT gehen noch dahin, dass am Ende eines jeden dieser 960 Kanäle unter normalen Betriebsbedingungen im Mittel eine Geräuschleistung von 10 000 pW auftreten darf. 2500 pW dürfen durch die Frequenzverschiebungsgeräte und 7500 pW durch die Fernleitung erzeugt werden. Die Geräuschleistung eines Kanals wird am Ort des relativen Pegels 0 N gemessen. Die Kabeltechniker haben sich mit dieser fundamentalen Forderung abgefunden; die Richtstrahltechniker dagegen finden sie zu streng. Im CCIR sind deshalb Bestrebungen im Gange, den Grenzwert, allerdings bloss für sehr kurze Zeiten, wesentlich höher anzusetzen (100 000 pW).

Die weitere Entwicklung des Fernsehens legt auch in der Schweiz den Gedanken nahe, nicht nur Richtstrahlverbindungen, sondern auch Kabelanlagen so zu dimensionieren, dass sie die Übertragung von Fernsehsignalen gestatten. Damit sieht sich der Übertragungstechniker vor gänzlich neue Probleme ge-

rents circuits de référence selon le CCITT et le CCIR, déjà mis au point ou actuellement à l'étude.

2. Circuits fictifs de référence

Le circuit fictif de référence du CCITT, qui nous intéresse spécialement ici, pour systèmes à 960 voies, s'étend sur 2500 km de câble coaxial du type 2,6/9,4 mm et présente en tout 30 étages de modulation, soit: 6 modulations de voies, 12 modulations de groupes primaires et 18 modulations de groupes secondaires. Les autres recommandations du CCITT prévoient qu'à l'extrémité de chacune de ces 960 voies, dans des conditions d'exploitation normales, la puissance psophométrique peut atteindre en moyenne 10 000 pW. 2500 pW peuvent être produits par les équipements de modulation et 7500 pW par la ligne haute fréquence. La puissance psophométrique d'une voie est mesurée au point de niveau relatif 0 N. Les techniciens en câbles ont admis cette exigence fondamentale; les techniciens en faisceaux hertziens la trouvent trop sévère. C'est pourquoi on cherche au CCIR à élever cette limite (100 000 pW), mais pour de très brefs intervalles de temps.

Le développement constant de la télévision incite, en Suisse également, à étudier la transmission de signaux vidéo non seulement sur les faisceaux hertziens mais également sur les câbles coaxiaux et à déterminer, en conséquence, leurs caractéristiques électriques. Le technicien des transmissions se voit ainsi placé devant des problèmes tout nouveaux. Il doit s'occuper du temps de propagation de groupe et de son égalisation, questions qui, dans la téléphonie moderne, ne jouent pratiquement plus aucun rôle. Les signaux vidéo étant plus sensibles que les signaux de téléphonie aux distorsions d'affaiblissement et aux variations dans le temps, les systèmes de transmission doivent actuellement, en ce qui concerne l'affaiblissement et le temps de propagation de groupe, être calculés d'après les principes applicables à la télévision et, pour ce qui touche le bruit et les distorsions non linéaires, d'après ceux qui font règle en téléphonie.

Il n'est toutefois pas facile de fixer les caractéristiques d'un canal à large bande permettant l'échange de programmes de télévision. Une commission spéciale, composée de membres du CCITT et du CCIR, a indiqué des valeurs provisoires pour la distorsion d'affaiblissement et de temps de propagation de groupe (fig. 2). En plus des normes établies par la commission pour les images en noir et blanc selon la norme de l'Europe occidentale, la figure 2 indique aussi le schéma des tolérances pour les images en couleur selon la norme américaine. Les tolérances européennes se rapportent à un système de référence de 2500 km, les américaines en revanche à un système de 6400 km.

3. La ligne coaxiale

De quels moyens disposons-nous pour transmettre des signaux de téléphonie ou de télévision sur 2500

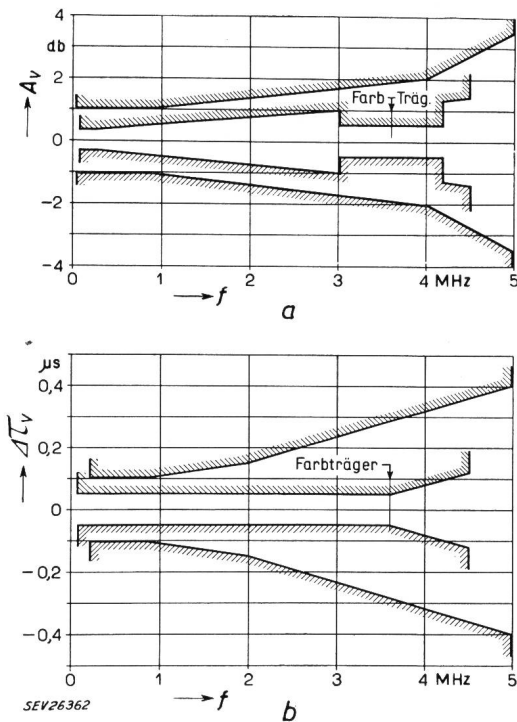


Fig. 2. Forderungen an einen Fernseh-Übertragungskanal
Caractéristiques d'une voie de transmission de télévision

a = Toleranzbereich der Dämpfungsverzerrung A_v
b = Toleranzbereich der Gruppenlaufzeitverzerrung $\Delta\tau_v$

f = Frequenz

Grosse Toleranz: Forderungen nach CCITT für 2500 km
Kleine Toleranz: Amerikanische Forderungen für einen NTSC-Farbfernsehkanal von 6400 km Länge

a = Tolerances pour la distorsion d'affaiblissement A_v
b = Tolerances pour la distorsion de temps de propagation de groupe $\Delta\tau_v$

f = Fréquence

Limite large: Limite admissible par le CCITT pour 2500 km
Limite étroite: Limite américaine admissible pour un système de télévision NTSC pour 6400 km

stellt. Er muss sich eingehend mit Fragen der Laufzeit und ihrer Entzerrung beschäftigen, mit Problemen, die in der modernen Telephonie praktisch keine Rolle mehr spielen. Da Fernsehsignale auch empfindlicher auf Dämpfungsverzerrungen und Schwankungen in der Zeit reagieren als Telephoniesignale, ist es heute so, dass Übertragungssysteme bezüglich Dämpfungs- und Laufzeiteigenschaften nach Fernseh-, bezüglich Geräusch und nichtlinearen Verzerrungen dagegen nach Telephoniegrundsätzen dimensioniert werden.

Nun ist es aber gar nicht so einfach, die charakteristischen Daten eines Breitbandkanals, der den Fernsehprogrammaustausch erlaubt, festzulegen. Eine spezielle Kommission, bestehend aus Mitgliedern des CCITT und des CCIR, hat für Dämpfungs- und Laufzeitverzerrung vorläufige Werte angegeben (Fig. 2). Neben den von der Kommission aufgestellten Normen für Schwarzweiss-Bilder westeuropäischer Norm enthält Figur 2 auch die Toleranzschemata für amerikanische Farbbilder. Die europäischen Toleranzen beziehen sich auf ein Bezugssystem von 2500 km, die amerikanischen dagegen gelten für eine Länge von 6400 km.

3. Die koaxiale Leitung

Was steht uns nun für die Übertragung dieser Telephonie- bzw. Fernsehsignale über 2500 km zur Verfügung? Es ist dies das vom CCITT genormte koaxiale Kabel. Für die folgenden Ausführungen genügt es, wenn jede beliebige Länge als passiver Vierpol betrachtet wird, der gekennzeichnet ist durch seinen Wellenwiderstand Z_0 und sein Übertragungsmass $\Gamma = A + jB$, wobei A das Dämpfungsmass und B das Phasenmass bedeuten. Die Ableitung des Phasenmasses nach der Frequenz liefert die

$$\text{Gruppenlaufzeit } \tau = \frac{dB}{d\omega}$$

Die Figur 3 zeigt das Dämpfungsmass A und die

km? Nous avons le câble coaxial normalisé par le CCITT. Pour les explications qui suivent, il suffit de considérer chaque longueur quelconque comme un quadripôle passif, caractérisé par son impédance caractéristique Z_0 et son exposant de transfert $\Gamma = A + jB$, dans lequel A est l'affaiblissement caractéristique et B le déphasage caractéristique. La dérivée du déphasage caractéristique par rapport à la fréquence donne le temps de propagation de groupe

$$\tau = \frac{dB}{d\omega}$$

La figure 3 montre l'affaiblissement A et la distorsion du temps de propagation de groupe $\Delta\tau$ des câbles coaxiaux 2,64/9,52 mm de différentes longueurs.

Les affaiblissements peuvent être compensés par des amplificateurs à large bande insérés à intervalles réguliers le long de la ligne. Mais qu'en est-il du temps de propagation de groupe? Il peut être modifié de manière que les distorsions soient plus faibles, mais alors le temps de propagation absolu est plus long. Ce temps augmentant fortement lorsque la fréquence diminue, il y a une limite inférieure pour la transmission de signaux de télévision par câble; elle se situe autour de 500 KHz.

La bande de fréquences nécessaire à la transmission d'un groupe de 960 voies normalisé par le CCITT s'étend de 60 000 à 4 028 000 Hz. Etant donné qu'un signal de télévision selon les normes de l'Europe occidentale comprend une gamme de 30 à 5 000 000 Hz, un circuit de 960 voies n'est pas en mesure de transmettre parfaitement, comme l'ont montré des essais entrepris à d'autres fins par l'administration des PTT suisses sur le trajet Zurich—Lugano—Zurich.

Pour pouvoir transmettre au choix, sur un circuit coaxial, soit 960 voies, soit un programme de télévision, on a mis au point un amplificateur de 6 MHz, qui est installé pour la première fois sur le câble coaxial Lausanne—Genève. Des calculs ont démontré que, malgré la distance habituelle entre répéteurs

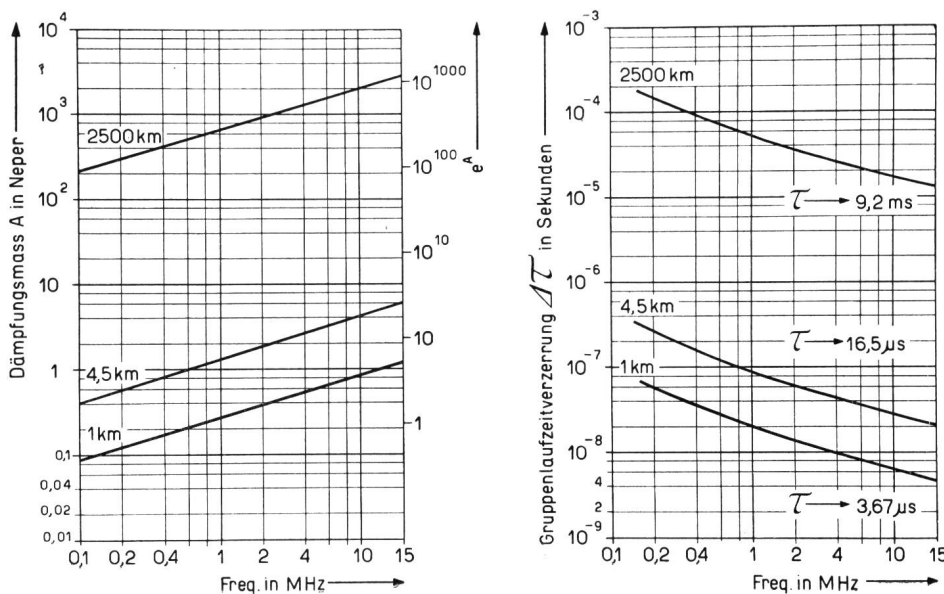


Fig. 3.

Dämpfungsmass A und Gruppenlaufzeitverzerrung $\Delta\tau$ von Koaxialkabeln 2,64/9,52 mm verschiedener Längen

Affaiblissement A et distorsion du temps de propagation de groupe $\Delta\tau$ des câbles coaxiaux 2,64/9,52 mm de différentes longueurs

Dämpfungsmass A in Neper
Gruppenlaufzeitverzerrung $\Delta\tau$ in Sekunden
Affaiblissement A en népers
Distorsion du temps de propagation $\Delta\tau$ en secondes

Gruppenlaufzeitverzerrung $\Delta \tau$ von Koaxialkabeln 2,64/9,52 mm verschiedener Längen.

Die Dämpfungen können durch geeignete Breitbandverstärker, die in regelmässigen Abständen in den Zug der Leitungen geschaltet werden, kompensiert werden. Wie steht es aber mit der Laufzeit? Diese kann so beeinflusst werden, dass die Verzerrungen kleiner, die absolute Laufzeit aber grösser wird. Weil diese beim Kabel mit sinkender Frequenz stark zunimmt, gibt es eine untere Grenze für die Übertragung von Fernsehsignalen, die etwa bei 500 Hz liegt.

Das zur Übertragung einer noch vom CCIF genormten 960-Kanal-Gruppe notwendige Frequenzband erstreckt sich von 60...4028 kHz. Da ein Fernsehsignal westeuropäischer Norm den Frequenzbereich von 30...5 000 000 Hz umfasst, ist eine 960-Kanal-Leitung nicht in der Lage, ein solches Bild einwandfrei zu übertragen, wie Versuche, die die schweizerische PTT-Verwaltung, allerdings zu anderen Zwecken, auf der Strecke Zürich—Lugano—Zürich vorgenommen hat, gezeigt haben.

Um nun nach Wahl entweder 960 Kanäle oder ein Fernsehprogramm über eine koaxiale Leitung austauschen zu können, wurde ein 6-MHz-Verstärker entwickelt, der zum ersten Male auf der sich in Bau befindenden Strecke Lausanne—Genf eingesetzt werden soll. Berechnungen haben gezeigt, dass trotz des bisherigen Abstandes der Verstärker (9 km) total 1260 Kanäle übertragen werden können. Es ist aber zu erwarten, dass die höchsten Kanäle die Geräuschbedingungen des CCITT nicht mehr für die ganze Länge des Bezugssystems erfüllen werden. Obschon mit dem Bau dieser Verstärker ein scheinbarer Abschluss der Entwicklung eintrat, steht sie doch nicht still.

Der stets zunehmende Bedarf an Gesprächsmöglichkeiten, sowohl im nationalen wie auch im internationalen Telephonienetz, und vielleicht auch die wachsende Richtstrahlkonkurrenz, zwingen die beteiligten Verwaltungen, das bestehende und das noch zu bauende Kabelnetz immer besser auszunützen. Eine besondere Kommission des CCITT befasst sich deshalb mit dem Studium eines 12-MHz-Systems. Bereits liegen Studien über die Frequenzaufteilung vor, und vielerorts wird an die Entwicklung der entsprechenden Verstärker geschritten. Dieses System wird ausserordentlich leistungsfähig sein; beim reinen Telephoniebetrieb wird es 2700 Kanäle aufweisen, beim reinen Fernsehbetrieb könnte es zwei Programme aufnehmen und im Falle des gemischten Betriebes neben einem Fernsehkanal noch 1200 Telephoniekanäle übertragen.

Die Tendenz, immer mehr Gesprächsmöglichkeiten über ein und dasselbe Leiterpaar zu vermitteln, legt die Frage nahe, ob überhaupt eine obere Grenze der Kanalkapazität eines Systems existiert und wenn ja, wo sie liegt?

Es sind im wesentlichen drei Elemente, welche diese Kapazität massgebend beeinflussen:

(9 km), il sera possible de transmettre 1260 voies au total. Il faut s'attendre cependant que les voies supérieures ne remplissent plus les conditions de bruit adoptées par le CCITT pour la longueur totale du système de référence. Bien qu'avec la construction de cet amplificateur le développement paraisse marquer la fin d'une étape, il est encore loin d'être arrêté.

Les besoins toujours croissants en possibilités de conversation, aussi bien sur le réseau national que sur le réseau international, et peut-être la concurrence faite par les faisceaux hertziens, obligent les administrations intéressées à chercher des moyens pour utiliser toujours mieux les câbles existants et encore à poser. Une commission spéciale du CCITT étudie à cet effet un système à 12 MHz. Des propositions sur la répartition des fréquences ont déjà été faites et, dans plusieurs pays, la mise au point d'amplificateurs adéquats a commencé. Ce système aura un très haut rendement; pour l'exploitation téléphonique seule, il pourra fournir 2700 voies; pour la télévision seule, il permettra de transmettre deux programmes; en cas d'exploitation combinée, on disposera de 1200 voies téléphoniques et d'une voie de télévision.

Considérant la tendance à créer toujours plus de possibilités de conversation sur une seule et même paire de conducteurs, on en vient à se demander s'il existe une limite supérieure à la capacité en voies d'un système et, dans l'affirmative, où elle se trouve.

Cette capacité est influencée par trois éléments principaux:

1. Les possibilités techniques;
 2. Les considérations économiques;
 3. Les exigences de l'exploitation.
- Nous traiterons ci-après des possibilités techniques.

4. L'équipement terminal

Les équipements terminaux peuvent être mis à disposition sans difficulté. Il sera toujours possible de grouper dans la gamme de fréquences disponible les nombres de voies qui seront demandés. La figure 4 montre le développement de la technique des circuits à courants porteurs en Suisse depuis le système à 12 voies jusqu'au système projeté à 2700 voies. Ce développement s'est fait en quelques années et de manière si rapide qu'il est peu probable qu'il soit déjà à son terme.

La méthode conduisant à la constitution de groupes à petit ou à grand nombre de voies, est simple et toujours la même. C'est la technique de la transposition des fréquences, qui repose sur le principe de la modulation à bande latérale unique. Comme le montre la figure 5, le système est fondé sur les groupes primaires de base à 12 voies. On en forme des groupes de base secondaires (60 voies), qui constituent à leur tour des groupes de base tertiaires (300 voies) ou même des groupes quaternaires. Par des modulations successives et une stricte ordonnance des groupes, on obtient le groupe principal qui est transmis à l'extrémité éloignée (fig. 6).

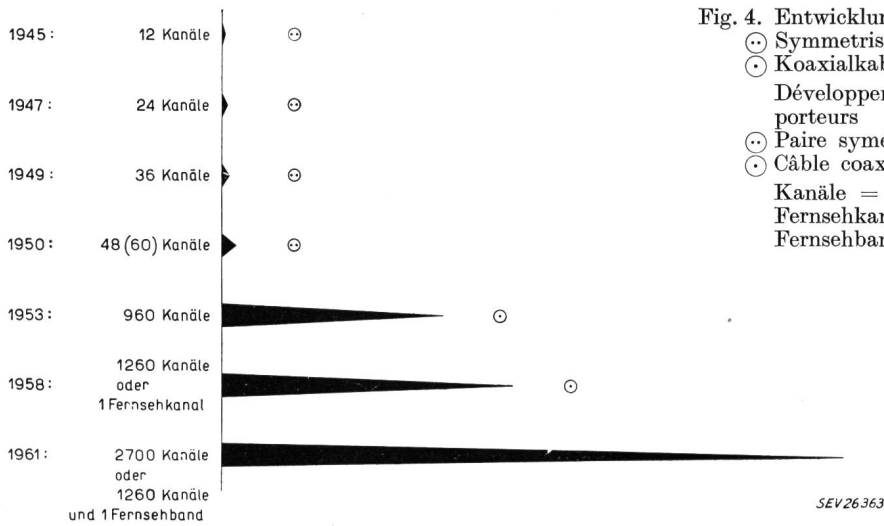


Fig. 4. Entwicklung der Trägerfrequenz-Telephoniesysteme
 ⊙ Symmetrisches Aderpaar
 ⊖ Koaxialkabel 2,64/9,52 mm. 1961: projiziert
 Développement des systèmes de téléphonie à courants porteurs
 ⊙ Paire symétrique
 ⊖ Câble coaxial 2,64/9,52 mm. 1961: projeté
 Kanäle = Voies
 Fernsehkanal = Voie de télévision
 Fernsehband = Bande de télévision

1. Technische Möglichkeiten;
2. Wirtschaftliche Voraussetzungen;
3. Betriebliche Anforderungen.

Im folgenden sollen die technischen Möglichkeiten etwas näher beschrieben werden.

4. Die Endausrüstung

Die Bereitstellung der notwendigen Endausrüstungen wird keine wesentlichen Schwierigkeiten bereiten. Stets wird es möglich sein, diejenigen Kanalzahlen frequenzmässig aneinander zu reihen, die gewünscht werden. In Figur 4 ist die Entwicklung der Trägerfrequenztechnik in der Schweiz, ausgehend vom 12-Kanal- bis zum projizierten 2700-Kanalsystem, dargestellt. Diese Entwicklung vollzog sich in wenigen Jahren so schnell, dass es unwahrscheinlich ist, ihren Abschluss anzunehmen.

Die Methode, die zu kleinen oder grossen Vielkanalgruppen führt, ist einfach und stets dieselbe. Es ist die Technik der Frequenzverschiebung oder Frequenzumsetzung, die auf dem Prinzip der Einseitenband-Modulation basiert. Als Grundlage dienen, wie dies aus Figur 5 ersichtlich ist, die Basisgruppen, die 12 Kanäle umfassen. Damit werden Basissekundärgruppen (60 Kanäle) gebildet, die ihrerseits wieder in Basistertiärgruppen (300 Kanäle) oder ev. sogar in Quartenärgruppen übergeführt werden. Durch fortlaufende Umsetzung und straffes Ordnen der Gruppen gelangt man so zur Hauptgruppe, die es ans ferne Ende zu übertragen gilt (Fig. 6).

Der gerätetechnische Aufwand, der zur Bildung solcher Systeme notwendig ist, ist beträchtlich. Figur 7 stellt Teile der Gruppenmodulationsstufen eines grossen Trägeramtes dar. Zur übersichtlichen Rangierung und Kontrolle der einzelnen Gruppen dienen die sog. Verteiler, die für einen flexiblen Betrieb notwendig sind (Fig. 8).

Da es selten vorkommen wird, dass ein Amt in der Lage ist, aus seinem Verkehrsvolumen heraus allein eine Hauptgruppe zu füllen, sind in allen Ämtern Mittel vorgesehen, um Gruppen, Sekundärgruppen

Les équipements nécessaires à la formation de tels systèmes sont d'une ampleur importante. La figure 7 montre quelques parties des étages de modulation de groupes d'une grande station de systèmes à courants porteurs. Des répartiteurs indispensables à la flexibilité de l'exploitation, permettent une distribution claire et un contrôle individuel des groupes (fig. 8).

Comme il arrive rarement que le volume du trafic d'un central suffise à remplir le groupe principal, on a prévu dans toutes les stations des moyens pour transférer d'un système à l'autre des groupes primaires, secondaires ou même tertiaires.

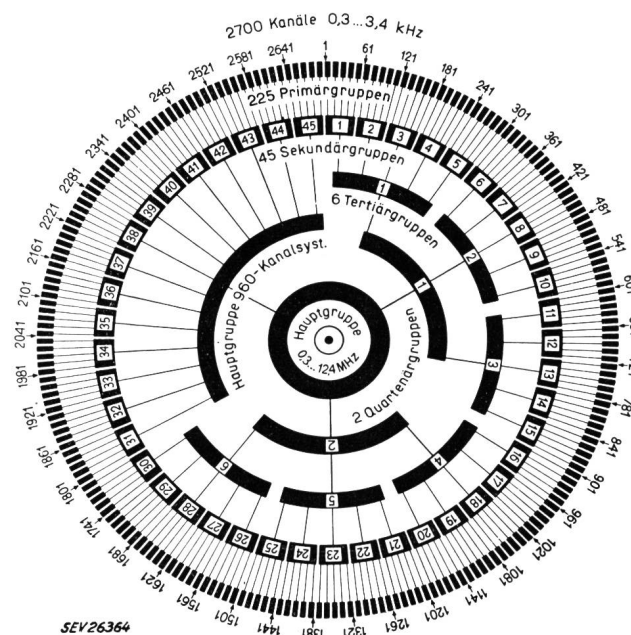


Fig. 5. Aufbau eines 2700-Kanalsystems
 Schéma de principe de modulation d'un système à 2700 voies
 Kanäle = Voies
 Primärgruppen = Groupes primaires
 Sekundärgruppen = Groupes secondaires
 Tertiärgruppen = Groupes tertiaires
 Quartenärgruppen = Groupes quaternaires
 Hauptgruppe = Groupe principal
 Kanalsystem = Système multivoies

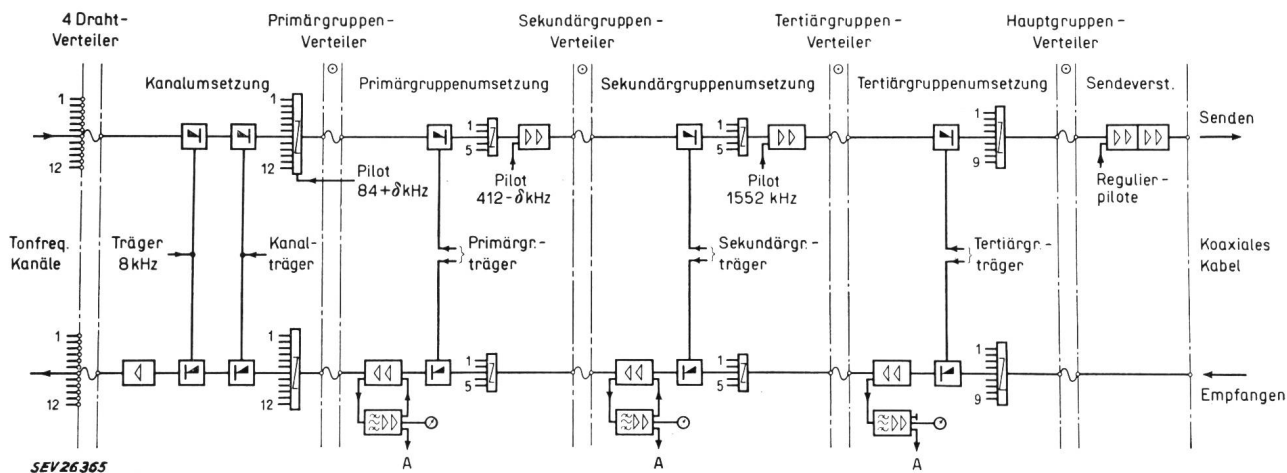


Fig. 6. Schaltung einer Hauptgruppe eines 12-MHz-Systems mit 2700 Kanälen
Etablissement du groupe principal d'un système à 12 MHz à 2700 voies

Legende - Légende:

4-Draht-Verteiler = Répartiteur 4 fils
 Primärgruppenverteiler = Répartiteur de groupes primaires
 Sekundärgruppenverteiler = Répartiteur de groupes secondaires
 Tertiärgruppenverteiler = Répartiteur de groupes tertiaires
 Hauptgruppenverteiler = Répartiteur de groupes principaux
 Kanalumsetzung = Modulation de voie
 Primärgruppenumsetzung = Modulation de groupe primaire
 Sekundärgruppenumsetzung = Modulation de groupe secondaire

Tertiärgruppenumsetzung = Modulation de groupe tertiaire
 Sendeverstärker = Amplificateur d'émission
 Senden = Réception
 Pilot = Pilote
 Regulierpilote = Pilote de régulation
 Tonfreq.-Kanäle = Voies à fréquence vocale
 Träger = Porteurs
 Kanalträger = Porteurs de voies
 Primärgruppenträger = Porteurs de groupes primaires
 Sekundärgruppenträger = Porteurs de groupes secondaires
 Tertiärgruppenträger = Porteurs de groupes tertiaires
 Koaxiales Kabel = Câble coaxial
 Empfangen = Réception
 A = Pilotalarm - Alarme d'onde pilote

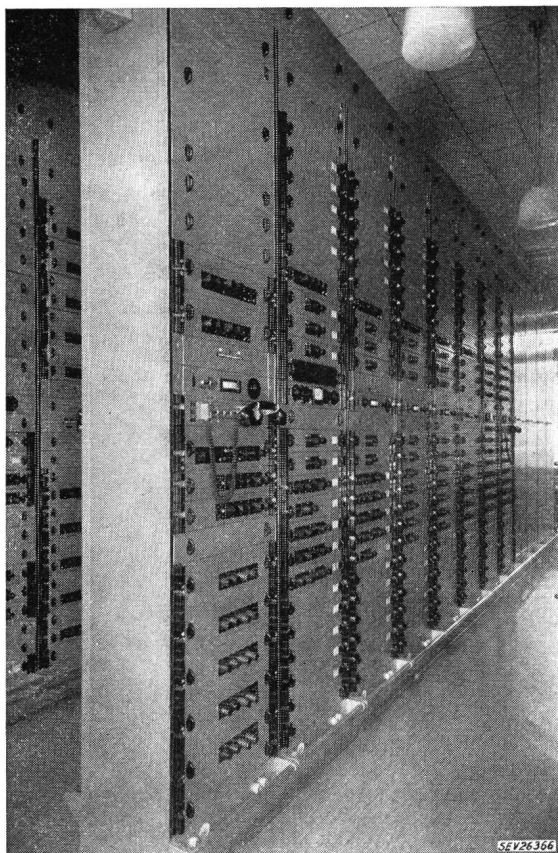


Fig. 7. Gruppenausrüstung eines Trägeramtes
Équipement de modulation de groupe dans une station à courants porteurs

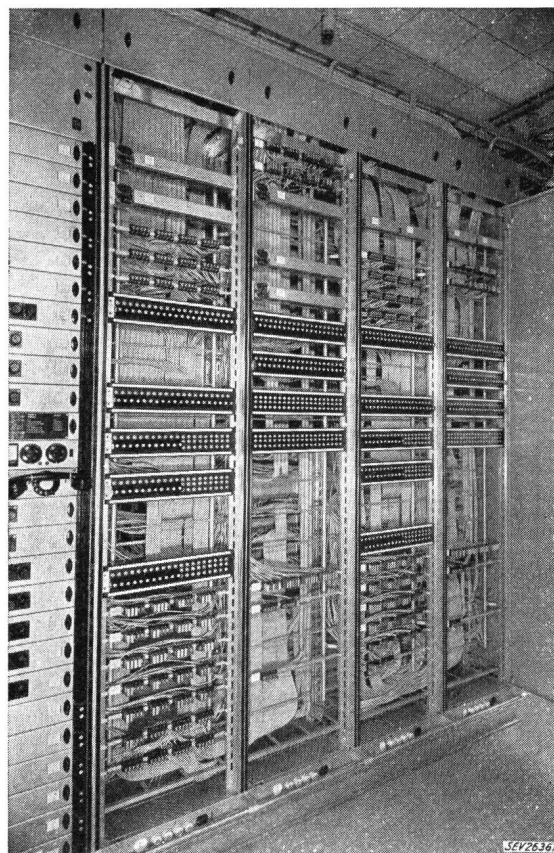


Fig. 8. Gruppenverteiler eines Trägeramtes
Répartiteur de groupes dans une station à courants porteurs

oder gar Tertiärgruppen von einem System in ein anderes transferieren zu können.

Bei der Übertragung von Fernsehsignalen versagt die Einseitenbandtechnik, und zwar ganz einfach deshalb, weil die bei jeder Modulation entstehenden beiden Seitenbänder erster Ordnung im Falle von Fernsehkanälen so eng beisammen liegen, dass sie mittels der heute bekannten Filter nicht mehr getrennt werden können. Man muss sich deshalb des Verfahrens der Zweiseitenbandmodulation mit stark reduziertem untern Seitenband bedienen. Dabei können recht komplizierte Modulationsschemata entstehen (Fig. 9), wie zum Beispiel im Falle einer 6-MHz-Leitung. Die Wahl des richtigen Trägers ist wesentlich. Die diesem Schema entsprechenden Modulations- bzw. Demodulationseinrichtungen wurden als Prototypen von der Abteilung für industrielle Forschung (AFIF) an der ETH gabaut.

5. Die Linienverstärker

Bei der Dimensionierung des Übertragungssystems liegt das Problem darin, die bekannten Kabelgrößen mit der Zahl und den Eigenschaften der Linienverstärker so abzustimmen, dass die betrachtete Leitung, würde sie auf die Länge des Bezugssystems ergänzt, eine Geräuschleistung von 7500 pW pro Telephoniekanal liefern und bezüglich Dämpfungs- und Laufzeitverzerrung die Forderungen des CCIR erfüllen würde.

Dieses Geräusch setzt sich aus dem Grund- und dem Intermodulationsgeräusch zusammen. Das Grundgeräusch wird durch das Widerstandsrauschen des Kabels und seines Abschlusses verursacht. Ausgehend von der bekannten Formel

$$P_t = 4 k T \cdot \Delta f$$

k Boltzmannsche Konstante; T absolute Temperatur; Δf Bandbreite

erhält man als Rauschpegel eines Kanals von 3,1 kHz Bandbreite bei 20° C, psophometrisch bewertet:

$$p_{tk} = \frac{1}{2} \ln P_{tk} = -15,55 \text{ N}$$

La technique de la modulation à bande latérale unique n'est plus utilisable pour la transmission de signaux de télévision. En effet, les deux bandes latérales de premier ordre produites dans des montages de modulation sont pratiquement si proches l'une de l'autre que les filtres employés aujourd'hui ne peuvent les séparer. Il faut donc appliquer le procédé de modulation dit «Nyquist» avec la bande inférieure fortement réduite. Il en résulte des schémas de modulation compliqués (fig. 9), par exemple dans le cas d'une ligne à 6 MHz. Le choix nécessaire de la fréquence porteuse est essentiel. Des équipements de modulation et de démodulation correspondants à ce schéma ont été construits en prototype par l'institut pour la recherche industrielle de l'Ecole polytechnique fédérale (AFIF).

5. Les amplificateurs de ligne

Le problème de l'étude d'un système de transmission consiste à faire concorder les valeurs électriques connues des câbles avec le nombre et les caractéristiques des amplificateurs, de manière que la ligne considérée, si elle était portée à la longueur du système de référence, fournisse une puissance psophométrique de 7500 pW par voie téléphonique et satisfasse aux exigences du CCIR en ce qui touche la distorsion d'affaiblissement et du temps de propagation de groupe.

Le bruit se compose du bruit de fond et du bruit d'intermodulation. Le bruit de fond résulte du bruit thermique du câble et de sa terminaison.

Partant de la formule connue

$$P_t = 4 k T \cdot \Delta f$$

où k = constante de Boltzmann; T = température absolue; Δf = largeur de bande, on obtient le niveau de bruit d'une voie de 3,1 kHz de largeur de bande à 20° C, évalué psophométriquement:

$$p_{tk} = \frac{1}{2} \ln P_{tk} = -15,55 \text{ N}$$

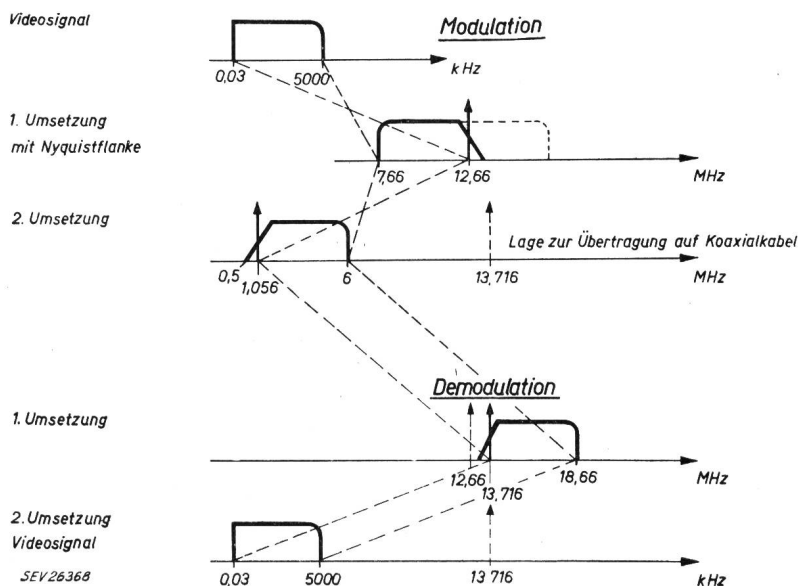


Fig. 9. Fernsehmodulationssystem für 6-MHz-Leitung
Système de modulation de télévision pour circuit à 6 MHz

Legende - Légende:

- Videosignal = Signal vidéo
- 1. Umsetzung mit Nyquistflanke = 1^{re} transposition avec flanc Nyquist
- 2. Umsetzung = 2^e transposition
- Modulation = Modulation
- Demodulation = Démodulation
- Lage zur Übertragung auf Koaxialkabel = Position pour la transmission sur câble coaxial

Diese Zahl beherrscht die Trägertechnik weitgehend. Besteht die zu betrachtende Verbindung aus n Verstärkerfeldern, deren Linienverstärker je den Verstärkungsgrad $V N$ besitzen, und berücksichtigen wir mit dem Rauschfaktor F noch das Rauschen der ersten Verstärkerröhre, so folgt für das Grundgeräusch des r -ten Kanals:

$$p_{tr} = -15,55 + V + \frac{1}{2} \ln F + \frac{1}{2} \ln n - p_a - 0,7$$

p_a bezeichnet den relativen Pegel eines Kanals am Ausgang der Verstärker.

Für die bekannten 4-MHz-Verstärker der 960-Kanalsysteme liefert diese Formel für den höchsten Kanal $-6,25 N$ entsprechend 3700 pW ($n = 280$).

Während das Grundgeräusch eine Angelegenheit des Kabels ist und abgesehen von der Zahl der Verstärker nur über den relativen Kanalpegel p_a wesentlich beeinflusst werden kann, wird das Intermodulationsgeräusch durch die Linienverstärker selbst verursacht, und zwar im speziellen durch die trotz bester Dimensionierung nie völlig lineare Verstärkungscharakteristik (Klirren der Verstärker). Am einfachsten ist es, die entstehenden Verzerrungen mittels des Abstandes der Harmonischen zu berechnen, welche bei Aussteuerung mit einem rein sinusförmigen Signal entstehen. Von besonderer Bedeutung sind die Verzerrungen 2. und 3. Ordnung.

Im tatsächlichen Betrieb wird der Verstärker natürlich nicht durch ein solches Signal belastet, sondern durch ein kompliziertes Gemisch verschiedenster Frequenzen. Anstelle von blossen Harmonischen entstehen Kreuzmodulationsprodukte, deren Frequenzen in unbeteiligte Kanäle fallen können und dort zu nichtlinearem Nebensprechen führen. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Produkte zweiter Ordnung, über viele Verstärker betrachtet, leistungsmässig, diejenigen dritter Ordnung aber spannungsmässig addieren.

Brockbank und *Wass* haben für das Intermodulationsgeräusch der einzelnen Kanäle die folgenden Formeln angegeben:

$$\frac{1}{2} \ln P_{2r} = -H_{2r}(p_a + \delta) + p_m + K_2 - \Psi_2 + \frac{1}{2} \ln n_s$$

$$\frac{1}{2} \ln P_{3r} = -H_{3r}(p_a + \delta) + p_m + K_3 - \Psi_3 + \ln n_s$$

Darin bedeuten:

p_m mittlerer Pegel eines Kanals am relativen Pegelpunkt 0 N

p_a relativer Kanalpegel am Ausgang eines Verstärkers

$$\delta = p_m + \frac{1}{2} \ln Z$$

Z Anzahl der Kanäle

n_s Anzahl der Verstärker

Ψ_k psophometrische Korrekturkoeffizienten
 $\Psi_2 = 0,5 N, \Psi_3 = 0,35 N$

Ce chiffre est essentiel dans la technique des courants porteurs. Si la liaison prise en considération comprend n sections d'amplification, dont les amplificateurs de ligne possèdent chacun un gain de $V N$, et compte tenu du bruit du premier tube d'amplification avec le facteur de bruit F , le bruit de fond de la voie de rang r sera

$$p_{tr} = -15,55 + V + \frac{1}{2} \ln F + \frac{1}{2} \ln n - p_a - 0,7$$

p_a désigne le niveau relatif d'une voie à la sortie de l'amplificateur.

Pour les amplificateurs à 4 MHz des systèmes à 960 voies, cette formule donne pour la voie la plus haute $-6,25 N$, valeur correspondant à 3700 pW ($n = 280$).

Tandis que le bruit de fond dépend du câble et, exception faite du nombre des amplificateurs, ne peut être influencé de manière appréciable que par l'intermédiaire du niveau de voie relatif p_a , le bruit d'intermodulation est causé par les amplificateurs de ligne eux-mêmes, et en particulier par la caractéristique d'amplification jamais absolument linéaire malgré la meilleure étude des amplificateurs. Il est possible de calculer les distorsions résultantes à condition de connaître l'écart d'affaiblissement des harmoniques produites dans un amplificateur chargé par un signal sinusoïdal. Les distorsions de 2^e et 3^e ordre présentent une importance particulière.

Dans l'exploitation, l'amplificateur n'est naturellement pas chargé par un tel signal, mais par un mélange complexe de diverses fréquences. Les harmoniques simples sont remplacés par des produits d'intermodulation dont les fréquences peuvent affecter des voies quelconques et y produire de la diaphonie inintelligible. Des recherches approfondies ont montré que les produits de deuxième ordre d'un circuit comptant un grand nombre d'amplificateurs s'additionnent en puissance, tandis que ceux de troisième ordre s'additionnent en tension.

Brockbank et *Wass* ont donné les formules suivantes pour le bruit d'intermodulation de chaque voie:

$$\frac{1}{2} \ln P_{2r} = -H_{2r}(p_a + \delta) + p_m + K_2 - \Psi_2 + \frac{1}{2} \ln n_s$$

$$\frac{1}{2} \ln P_{3r} = -H_{3r}(p_a + \delta) + p_m + K_3 - \Psi_3 + \ln n_s$$

où

p_m = niveau moyen d'une voie au point de niveau relatif 0 N

p_a = niveau relatif d'une voie à la sortie d'un amplificateur

$$\delta = p_m + \frac{1}{2} \ln Z$$

Z = nombre des voies

n_s = nombre des amplificateurs

Ψ_k = coefficient de correction psophométrique
 $\Psi_2 = 0,5 N, \Psi_3 = 0,35 N$

$$K_2 = \frac{1}{2} \ln \left[4 \left(1 - \frac{r}{2Z} \right) \right]$$

$$K_3 = \frac{1}{2} \ln \left[18 \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{Z} - \frac{r^2}{Z^2} \right) \right]$$

r Ordnungszahl des Kanals

Beträgt der relative Kanalpegel p_a für einen mittleren Kanal eines 960-Kanalsystems am Verstärker Ausgang z. B. $-1,3$ N und wird ein Intermodulationsgeräusch von 2500 pW zugelassen, so ergeben sich für sinusförmige Aussteuerung der Verstärker mit einem Ausgangssignal von $+0,4$ N minimale Dämpfungsabstände für die 2. Harmonische von $7,9$ N und für die 3. Harmonische von $10,5$ N.

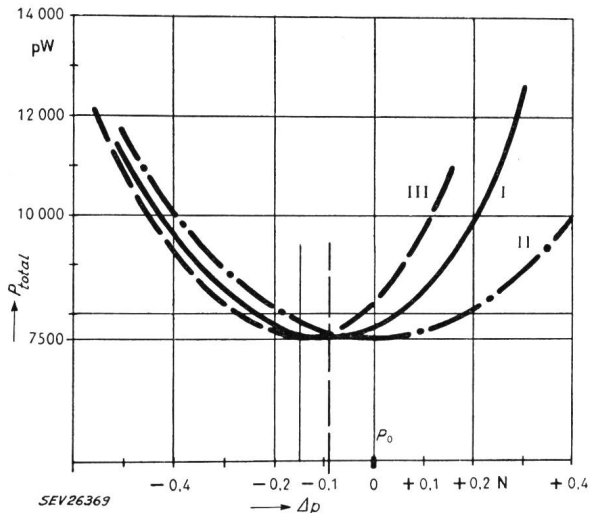


Fig. 10. Verlauf der totalen Geräuschleistung P_{total} in Funktion der Änderung des Übertragungspegels Δp
 I $p_{2r} = p_{3r}$; II $p_{3r} = 0$; III $p_{2r} = 0$
 Allure de la puissance psophométrique totale P_{total} en fonction de la variation du niveau de transmission Δp

Das totale Grundgeräusch eines Kanals folgt nun durch Addition der einzelnen Anteile zu:

$$P_{total} = P_{tr} + P_{2r} + P_{3r}$$

und ist eine Funktion der Verstärkerkonstanten V , F , H_{2r} , H_{3r} , der Anzahl der Verstärker n , der total Kanalzahl Z , des Übertragungspegels p_a und des mittleren Kanalpegels p_m , welcher am Orte des relativen Pegels 0 N herrscht. Er wird vom CCITT mit $-1,73$ N angegeben.

Die ganze komplizierte Rechnung dient im Grunde genommen nicht dazu, das Grundgeräusch zu berechnen, sondern bei gegebenen Verstärkerdaten den Übertragungspegel p_a festzulegen. Er liegt nämlich nicht dort, wo die Anteile von Grund- und Intermodulationsgeräusch gleich sind, sondern dort, wo das Grundgeräusch $\frac{3}{5}$ und das Intermodulationsgeräusch $\frac{2}{5}$ der total zugelassenen Geräuschleistung betragen. Der Übertragungspegel ist dann $0,1$ N tiefer als bei gleicher Aufteilung (Fig. 10).

Die Kurven zeigen den Verlauf von P_{total} in Funktion der Änderung des Übertragungspegels p_a . Sowohl für grössere als auch für kleinere Übertragungspegel wird die totale Geräuschleistung grösser.

$$K_2 = \frac{1}{2} \ln \left[4 \left(1 - \frac{r}{2Z} \right) \right]$$

$$K_3 = \frac{1}{2} \ln \left[18 \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{Z} - \frac{r^2}{Z^2} \right) \right]$$

r = rang de la voie

Si le niveau relatif p_a d'une voie en position moyenne d'un système à 960 voies téléphoniques est, par exemple, à la sortie de l'amplificateur, de $-1,3$ N et si un bruit d'intermodulation de 2500 pW est toléré, on obtient, pour un signal sinusoïdal de niveau $+0,4$ N à la sortie de l'amplificateur, des écarts minimums d'affaiblissement de $7,9$ N pour le 2^e harmonique et $10,5$ N pour le 3^e harmonique.

Le bruit de fond total d'une voie s'obtient par l'addition des composantes:

$$P_{total} = P_{tr} + P_{2r} + P_{3r}$$

et est une fonction des constantes d'amplification V , F , H_{2r} , H_{3r} , du nombre des amplificateurs n , du nombre total des voies Z , du niveau de transmission p_a et du niveau moyen de voie p_m qui existe au point de niveau relatif 0 N. Il est indiqué par le CCITT avec une valeur de $-1,73$ N.

En réalité, tout ce calcul compliqué ne sert pas à déterminer le bruit de fond, mais bien le niveau de transmission p_a pour des caractéristiques données des amplificateurs. Ce niveau ne se trouve pas là où

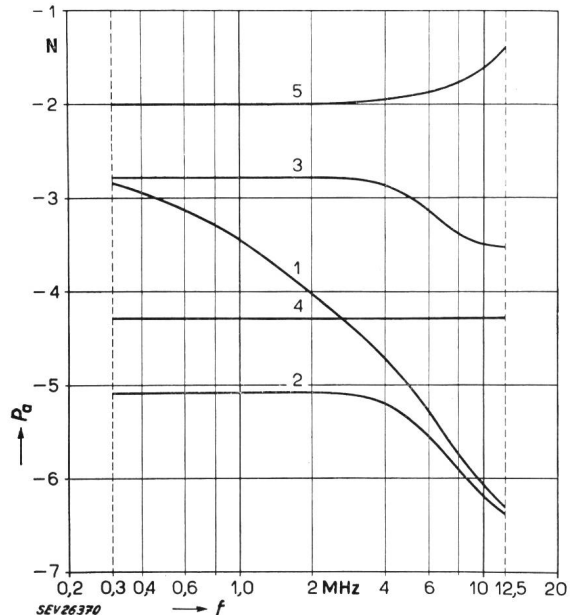
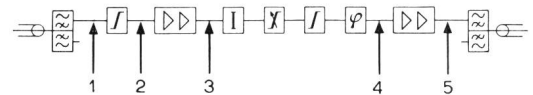


Fig. 11. Vorläufiges Pegeldiagramm eines 12-MHz-Verstärkers
 Hypsogramme provisoire d'un amplificateur à 12 MHz
 Die Kurven 1, 2, 3, 4 und 5 des Diagramms zeigen die relativen Leistungspegel p_a in Funktion der Frequenz f , die an den im Verstärkerschema ebenfalls mit 1, 2, 3, 4 und 5 angegebenen Punkten herrschen sollen
 Les courbes 1, 2, 3, 4 et 5 du diagramme montrent les niveaux de puissance relatifs p_a en fonction de la fréquence f , qui doivent exister aux points désignés également par 1, 2, 3, 4 et 5 sur le schéma de l'amplificateur

Wie nun auf Grund solcher Überlegungen das Pegeldiagramm eines Linienverstärkers für das projektierte 12-MHz-System mit Verstärkerfeldlängen von 4,5 km aussehen könnte, zeigt Figur 11.

Die Dämpfungsabstände der einzelnen Harmonischen bei einem Ausgangspegel von + 1,0 N müssen der Forderung genügen:

$$H_2 \geq 7,6 \text{ N}$$

$$H_3 \geq 9,7 \text{ N}$$

Nachdem der Übertragungspegel bestimmt ist, muss in jedem Falle untersucht werden, ob der Verstärker im praktischen Betrieb nicht durch die Summe aller Kanäle übersteuert wird. Dazu dient die bekannte Arbeit von *Holbrook* und *Dixon*. Bei Vielkanalanlagen ist es allerdings so, dass die Klirrdämpfungsforderungen diejenigen bezüglich Übersteuerung vorwegnehmen, weil es im allgemeinen nicht möglich ist, Verstärker zu bauen, die bei sehr kleinen maximalen Ausgangsleistungen genügende Klirrfreiheit besitzen. Für das bereits erwähnte Bei-

les parties du bruit de fond et du bruit d'intermodulation sont égales, mais là où le bruit de fond atteint $\frac{3}{5}$ et le bruit d'intermodulation $\frac{2}{5}$ de la puissance psophométrique totale admissible. Le niveau de transmission est alors de 0,1 N inférieur à ce qu'il serait en cas d'égale répartition (fig. 10).

Les courbes montrent l'allure de P_{total} en fonction de la variation du niveau de transmission p_a . La puissance psophométrique totale est plus grande aussi bien pour les niveaux élevés que pour les niveaux bas.

La figure 11 montre comment, dans ces conditions, se présente l'hypsogramme d'un amplificateur de ligne pour le système à 12 MHz projeté, avec des sections d'amplification d'une longueur de 4,5 km.

Les écarts d'affaiblissement des harmoniques doivent, pour un niveau de sortie de + 1,0 N, satisfaire à l'exigence suivante:

$$H_2 \geq 7,6 \text{ N}$$

$$H_3 \geq 9,7 \text{ N}$$

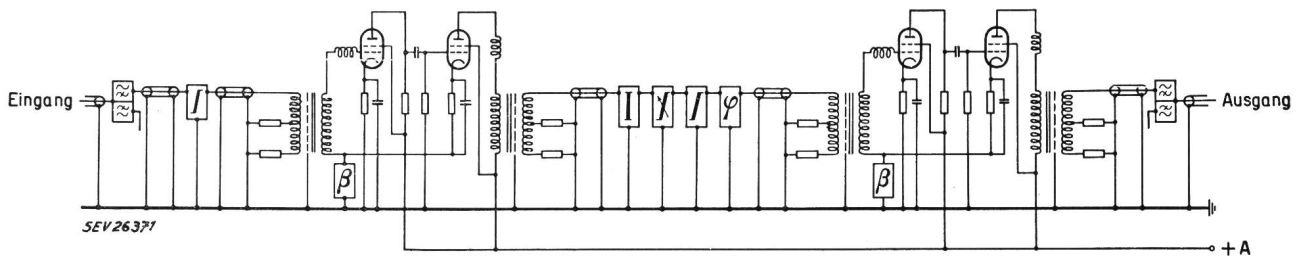


Fig. 12. Prinzipschema eines 12-MHz-Verstärkers – Schéma de principe d'un amplificateur 12 MHz

- | | |
|--|---|
| <p>B Gegenkopplungsnetzwerk = Réseau de contre-réaction</p> <p>I Dämpfungsentzerrer = Correcteur d'affaiblissement</p> <p>II Dämpfung = Atténuation</p> | <p>X Temperatorkorrektor = Correcteur de température</p> <p>P Phasentzerrer = Correcteur de phase</p> |
|--|---|

spiel beträgt die Belastung, die nur in 1⁰/₀₀ der Zeit überschritten wird, am relativen Pegel 0 N + 3,6 N. Aus dem Pegeldiagramm folgt damit die maximale Ausgangsleistung für sinusförmige Belastung mit der notwendigen Reserve zu + 2,2 N (80 mW).

Mit der Kenntnis des Pegeldiagramms und der notwendigen Klirrdämpfungen sind die Eigenschaften der Linienverstärker im wesentlichen bestimmt. Ob sie gebaut werden können, ist eine Frage der verfügbaren Röhren, im besonderen ihrer Steilheit und ihrer Gütefaktoren. Man rechnet heute mit Steilheiten S zwischen 20 und 40 mA/V und Gütefaktoren $S/2\pi C$ von etwa 250...500 MHz. Die notwendige Klirrfreiheit wird durch ausserordentlich hohe Gegenkopplungsgrade erzielt (4...5 N).

Figur 12 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines 12-MHz-Verstärkers. Er besteht aus einem Vor- und einem Nachverstärker mit dazwischen geschalteten Entzerrungs- und Reguliergliedern.

Der Verlauf des Verstärkungsgrades in Funktion der Frequenz, wie er zur Erfüllung des Pegeldiagramms notwendig ist, wird einerseits durch die frequenzabhängige Gegenkopplung und andererseits durch

Après avoir déterminé le niveau de transmission, on doit examiner dans tous les cas si, en exploitation, l'amplificateur n'est pas surchargé par la somme de toutes les voies. On consultera à cet effet l'ouvrage connu de *Holbrook* et *Dixon*. Dans les installations à voies multiples les exigences relatives à l'affaiblissement de distorsion harmonique prévalent sur celles qui se rapportent à la surmodulation, du fait qu'en général il n'est pas possible de construire des amplificateurs suffisamment exempts de distorsion harmonique pour de très faibles puissances maximums de sortie. Pour l'exemple déjà cité, la charge au niveau relatif 0 N, qui n'est dépassée que pendant 1 ⁰/₀₀ du temps, est de 3,6 N. D'après l'hypsogramme, la puissance maximum de sortie, avec une charge sinusoïdale et la réserve nécessaire, est alors de + 2,2 N (80 mW).

Les caractéristiques des amplificateurs de ligne sont déterminées dans une large mesure lorsqu'on connaît l'hypsogramme et les affaiblissements de distorsion harmonique nécessaires. La possibilité de les construire dépend alors des tubes dont on dispose, en particulier de leur pente et de leur facteur de

spezielle Korrektornetze in Form überbrückter T-Glieder erzwingen. Was die Gruppenlaufzeit betrifft, orientiert Figur 13 über die Verhältnisse beim 6-MHz-System. Die Figur enthält zunächst noch einmal das Toleranzschema für 2500 bzw. 250 km und die Laufzeiten eines Versuchsverstärkerfeldes samt dem dazu gehörenden Verstärker. Der Ver-

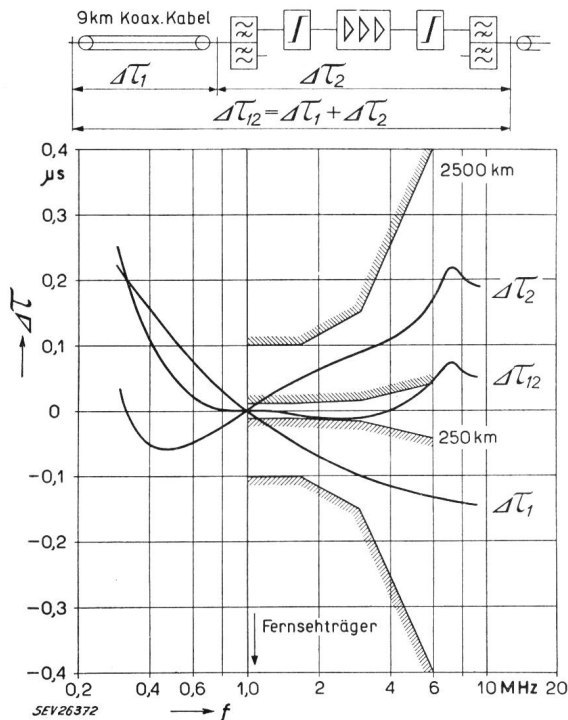


Fig. 13. Laufzeitverzerrungen eines Verstärkerabschnittes (6-MHz-System)
 Distorsion de temps de propagation de groupe d'une section d'amplification (système à 6 MHz)
 Fernsehräger = Fréquence de télévision
 f = Frequenz - Fréquence
 Weitere Bezeichnungen siehe Figur 12
 Pour les autres désignations, voir la figure 12

stärker liefert eine angenähert komplementäre Kurve, so dass die Verzerrung Kabel + Verstärker bereits einen ebeneren Verlauf aufweist. Da die Fernsehsignalübertragung mittels eines Trägers von etwa 1000 kHz erfolgt, genügt es, den Frequenzbereich zwischen 500 und 6000 kHz zu betrachten.

Nach einer bestimmten Anzahl Verstärker, zweckmässig in den Haupt- oder Regulierstationen, muss nun die Laufzeitverzerrung korrigiert werden. Dazu dienen die dämpfungslosen Kreuzglieder, auch Allpässe genannt, deren Aufbau aus Figur 14 hervorgeht.

Die Berechnung von Laufzeitkorrektoren ist kompliziert, weil sie sich im Gegensatz zu den Dämpfungskorrektoren nicht normen lassen. Eine Berechnungsmethode besteht darin, mögliche Glieder zu tabellieren, aufzuzeichnen und bei Bedarf zu kombinieren.

Sollen die Kanalzahlen noch höher getrieben werden, so muss der Verstärkerabstand erneut reduziert werden. Das übertragene Band wird noch grösser, die Forderungen an die Steilheit und Güte der Röh-

qualität. On compte aujourd'hui avec des pentes S comprises entre 20 et 40 mA/V et des facteurs de qualité $S/2\pi C$ de 250 à 500 MHz à peu près. La très faible distorsion harmonique désirée est obtenue par des contre-réactions exceptionnellement élevées (4...5 N).

La figure 12 montre la construction de principe d'un amplificateur de 12 MHz. Il se compose d'un amplificateur d'entrée et d'un amplificateur de sortie séparés par des réseaux correcteurs et de régulation.

L'allure du gain en fonction de la fréquence, telle qu'elle est nécessaire pour que les conditions de l'hypso-gramme de niveau soient remplies, est obtenue, d'une part, par la contre-réaction dépendant de la fréquence et, d'autre part, par des correcteurs spéciaux se présentant sous la forme d'éléments en T pontés. La figure 13 montre quelles sont les conditions de temps de propagation de groupe dans le système à 6 MHz. On y remarque d'abord le schéma des tolérances pour 2500 et 250 km et les temps de propagation de groupe dans une section d'amplification d'essai équipée de son amplificateur. L'amplificateur fournit une courbe à peu près complémentaire de sorte que la distorsion câble + amplificateur reste dans des limites plus étroites. Le signal de télévision étant transmis au moyen d'un porteur de 1000 kHz environ, il suffit de prendre en considération la gamme comprise entre 500 et 6000 kHz.

Après un certain nombre d'amplificateurs et de préférence dans les stations principales ou d'alimentation, on doit corriger la distorsion du temps de propagation de groupe. On utilise à cet effet les montages dit: «allpass» dont la construction est indiquée à la figure 14.

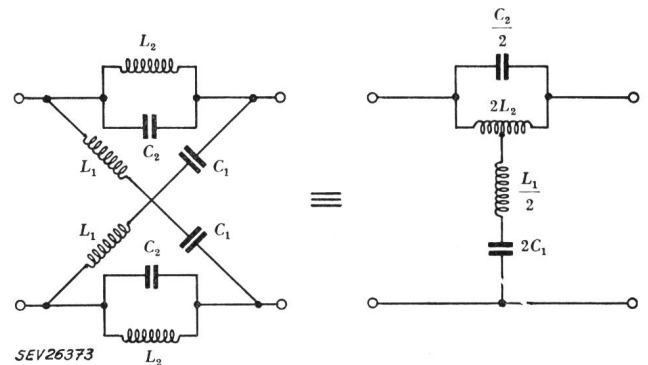


Fig. 14. Dimensionierungsformeln dämpfungsloser Kreuzglieder
 Formules pour le dimensionnement de correcteurs de phase

$$C_1 = \frac{\gamma_0}{\pi R_0 (\gamma_0^2 + f_0^2)} \quad C_2 = \frac{1}{4 \pi R_0 \gamma_0}$$

$$L_1 = \frac{R_0}{4 \pi \gamma_0} \quad L_2 = \frac{R_0 \gamma_0}{\pi (\gamma_0^2 + f_0^2)}$$

Laufzeit - Temps de propagation de groupe

$$\tau = \frac{\gamma_0}{\pi} \left(\frac{1}{\gamma_0^2 + (f - f_0)^2} + \frac{1}{\gamma_0^2 + (f + f_0)^2} \right)$$

R_0 Wellenwiderstand - Impédance caractéristique

ren noch höher und der Energiebedarf zur Speisung der Verstärker fast untragbar hoch.

Helfen in dieser Situation die Transistoren, deren Steilheiten von Natur aus bedeutend höher liegen und deren Leistungsverbrauch viel kleiner ist? Oder ist es der Wellenleiter, der das koaxiale Kabel ersetzt und ganz neue Möglichkeiten eröffnet?

Bibliographie

- [1] *Holbrook, B. D. and J. T. Dixon.* Load Rating Theory for Multi-Channel Amplifiers. *Bell Syst. techn. J.* **18** (1939), 624...644.
- [2] *Brockbank, R. A. and C. A. A. Wass.* Non-Linear Distortion in Transmission Systems. *Proc. IEE* **92** Part 3 (1945), 45...56.
- [3] *Comité Consultatif International Téléphonique (CCIR).* Assemblée plénière. Transmission sur les lignes. Genève **3** (1954),
- [4] *Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR).* Assemblée plénière, Varsovie 1956, Bd. 1.
- [5] *Stolz, Th.* Das Geräusch auf koaxialen Leitungen. *Hasler Mitt.* **16** (1957), 5...11.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. *J. Bauer*, Hasler AG., Bern.

Le calcul des correcteurs de temps de propagation est compliqué, parce qu'il n'est pas possible d'établir des normes comme pour les correcteurs d'affaiblissement. Une méthode consiste à calculer des cellules possibles, à en dessiner les diagrammes et, selon les besoins, les combiner.

S'il est nécessaire d'exploiter un plus grand nombre de voies, la distance entre amplificateurs doit encore être réduite. La bande transmise est plus large, les exigences concernant la pente et la qualité des tubes électroniques sont plus élevées et la consommation d'énergie pour alimenter les amplificateurs atteint une limite presque inadmissible.

Pourra-t-on dans ce cas utiliser des transistors, qui, par leur nature même, présentent des pentes plus élevées et dont la consommation de puissance est beaucoup plus faible? Ou les câbles coaxiaux seront-ils remplacés un jour par les guides d'ondes offrant des possibilités toutes nouvelles? Nous laissons l'avenir répondre à ces questions.

Adresse de l'auteur: Dr. sc. techn. *J. Bauer*, Hasler S. A., Berne.

A. LANGENBERGER, Berne

Quelques considérations sur le trafic téléphonique

654.155

Trop nombreux sont ceux qui pensent que les spécialistes des télécommunications n'ont que des problèmes de nature technique à résoudre. Ils oublient que dans ce domaine, comme partout ailleurs dans ce qui touche aux activités humaines, on invente et on construit des instruments pour les mettre à la disposition de la collectivité et pour permettre aux hommes de vivre plus facilement et plus agréablement.

Si la résolution de ces problèmes oblige le téléphoniste à mettre au point des dispositifs et des moyens adéquats pour pouvoir, par exemple, parler à distance avec n'importe qui, il n'en reste pas moins que les réalisations pratiques sont étroitement liées à des considérations économiques, car elles demandent la mise à contribution de moyens financiers plus ou moins importants. Notre téléphoniste cherchera naturellement à s'en sortir avec un minimum de mise de fonds. Et, comme cela se fait dans presque tous les domaines de réalisation, il montrera une prédilection pour les solutions de compromis, soit celles qui permettent d'assurer le maximum de «commodités» avec un minimum de «matériel». Pour ses études, il s'en référera aux renseignements donnés par le «trafic».

Comment doit-on comprendre ce que l'on désigne par «trafic»? Selon le dictionnaire Larousse du XX^e siècle, le mot «trafic» se rapporte au négoce, au commerce des marchandises. Il est aujourd'hui loin de son sens étymologique, au propre comme au figuré.

C'est ainsi qu'il a été utilisé pour désigner certains aspects du domaine ferroviaire; on s'en sert pour désigner le mouvement général d'une ligne, l'importance et la fréquence des trains, le mode de mouvement.

Branche particulière des communications, la téléphonie possède des particularités analogues à celles des entreprises de transport et qui, de ce fait, peuvent être désignées par les mêmes mots. Ainsi, on utilise aussi en télécommunications le terme «trafic». C'est à tort, peut-être, qu'on lui a donné diverses interprétations. Pour les uns, il correspond à une notion de «volume»; ils l'emploient pour caractériser le «nombre» de communications téléphoniques qui ont eu lieu simultanément ou durant une certaine période; ils parlent, par exemple, d'une période de fort trafic, d'abonnés à faible trafic, de trafic à l'heure chargée, etc. D'autres l'assimilent à l'idée de ce que l'on peut exprimer par «qualité du service téléphonique offert aux usagers»; ils disent que le trafic est trop chargé, que le trafic est mauvais parce qu'il «passe mal», etc. On rencontre aussi le terme combiné «trafic automatique» ou «trafic manuel» pour spécifier le système de commutation utilisé pour l'établissement des liaisons téléphoniques.

Cette diversité dans l'interprétation crée une certaine confusion chez celui qui s'occupe occasionnellement de questions concernant ce moyen de transmission. Dans notre exposé ci-après, nous nous en tiendrons à la première interprétation, celle qui cor-