

**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:** 44 (1966)

**Heft:** 6

**Artikel:** Transmission de signaux codés par lignes téléphoniques = Die Übertragung von PCM-Signalen auf Fernsprechkabeln

**Autor:** Yechouroun, Cyrus / Vuffray, Georges

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874577>

### **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>**

- [2] *C. G. Davis: An Experimental Pulse Code Modulation System for Short-Haul Trunks.* Bell Syst. techn. J. **41** (1962) 1, S. 1...24.
- [3] *W. Bleickardt: Der Einfluss der Quantisierung in PCM-Systemen.* Dissertation ETH 3425, Zürich 1963.
- [4] *P. Mornet, A. Chatelon und J. Le Corre: Anwendung der Pulsmodulation in einem integrierten Fernsprechnetz. 1. Teil: Vorteile der Pulsmodulation. 2. Teil: Übertragungstechnik – Codierung. 3. Teil: Vermittlungstechnik.* Elektr. Nachr.-wesen **38** (1963) 1, S. 5...27.
- [5] *E. M. Deloraine and A. H. Reeves: The 25th anniversary of pulse code modulation. Part. 1: Historical Background. Part 2: The Past, Present and Future of PCM.* IEEE Spectrum **2** (1965), 5, S. 56...63.

**Adresse des Autors:** Dr. sc. techn. *J. Bauer*, Direktor der Hasler AG, Belpstrasse 23, 3000 Bern 14.

cultés en ce qui concerne le central. En effet, au fur et à mesure de l'augmentation du trafic, le temps disponible pour une voie diminue. Sous certaines conditions, pour de très grands centraux, on pourra reprendre le principe du multiplexage dans l'espace sans pour autant décoder et coder de nouveau chaque voie.

Une étude plus approfondie des multiples problèmes rencontrés dans la réalisation de tels systèmes intégrés sortirait du cadre de cet exposé. Certes, actuellement, l'expérience pratique fait encore défaut, car on ne peut guère supposer que de tels systèmes aient eu l'occasion de faire leurs preuves, où que ce soit, sur le plan commercial. Pourtant, les possibilités d'application qui se présentent justifient les recherches poussées et l'importance des développements en cours. Le PCM est certes un des moyens permettant d'atteindre les buts mentionnés au début de l'exposé.

Cyrus YECHOUROUN et Georges VUFFRAY, Lausanne

621.376.56: 621.395: 621.315.2.029.4

## Transmission de signaux codés par lignes téléphoniques Die Übertragung von PCM-Signalen auf Fernsprechkabeln

**Zusammenfassung.** Dieser Artikel will einige Aspekte der Übertragung von aus einem PCM-System stammenden Signalen über bestehende Telephonkabel aufzeigen. Die Eigenschaften der Aderpaare, die Notwendigkeit der Verstärkung, Entzerrung und der Impulsregenerierung mit Leitungsverstärkern\* werden untersucht. Das Prinzip solcher Leitungsverstärker wird kurz beschrieben. Schliesslich werden einige Beispiele von Codierungsmethoden angegeben, die es gestatten, für das Leitungssignal einen konstanten Gleichstrommittelwert oder einen solchen der Grösse 0 zu erhalten.

**Résumé.** Cet exposé a pour but de relever quelques aspects de la transmission des signaux provenant d'un système PCM au moyen de câbles téléphoniques existants. On examine le comportement des paires téléphoniques et la nécessité de l'amplification, de la correction et de la régénération des impulsions au moyen de répéteurs. Le principe de tels répéteurs est décrit sommairement. Enfin, on donne quelques exemples de codage des impulsions permettant d'obtenir pour le signal une valeur moyenne constante ou nulle.

**Riassunto.** Trasmissione di segnali codificati sulle linee telefoniche. L'oggetto della presente relazione è di rilevare alcuni aspetti della trasmissione dei segnali provenienti da un sistema PCM sui cavi telefonici esistenti. Si esamina il comportamento delle coppie telefoniche e la necessità dell'amplificazione, della correzione e della rigenerazione degli impulsi per mezzo di ripetitori. Vengono in seguito dati esempi di codificazione degli impulsi che permettono d'ottenere un valore medio costante o nullo del segnale.

Dans cet exposé, on traite certains problèmes en rapport avec la transmission des signaux provenant d'un système PCM au moyen de câbles téléphoniques existants. La transmission simultanée de 24 voies de communication au moyen d'une seule paire téléphonique exige une vitesse d'information de 1 664 000 bits/s. Il est dès lors nécessaire d'envoyer sur ces câbles un signal comportant des fréquences bien supérieures à celles rencontrées dans leur utilisation normale. La *fig. 1* schématise l'ensemble d'un système de transmission PCM par câbles téléphoniques.

On examinera, dans ce qui suit, le comportement des paires téléphoniques et la nécessité de l'amplifi-

Dieser Artikel behandelt gewisse Probleme, die sich bei der Übertragung von PCM-Signalen auf bestehenden Telephonkabeln stellen. Die gleichzeitige Übertragung von 24 Sprachkanälen auf einem einzigen Aderpaar bedingt eine Übertragungsgeschwindigkeit von 1 664 000 bit/s, so dass auf den Kabeln noch Frequenzen übertragen werden müssen, die wesentlich höher liegen als jene bei herkömmlicher Anwendung. *Figur 1* zeigt schematisch ein PCM-Kabelübertragungssystem.

\* Als Leitungsverstärker (répéteur) ist die Hintereinanderschaltung eines Entzerrer-Verstärkers (amplificateur-correcteur) und eines Regenerators (régénérateur) zu verstehen.

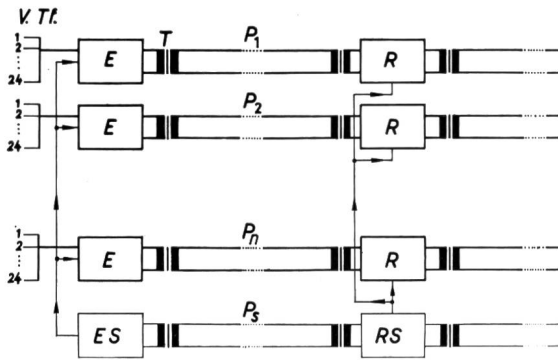


Fig. 1

Schéma de l'ensemble d'un système de transmission PCM par câbles téléphoniques

Gesamtschema eines PCM-Übertragungssystems auf Telephonkabeln

V.Tf: Voies téléphoniques – NF-Telephonkanäle

E: Emetteur des signaux codés – PCM-Sender

ES: Emetteur du signal de synchronisation – Synchronisationszeichen-Sender

$P_1, P_2 \dots P_n$ : Paires téléphoniques du câble – Aderpaare mit Sprachkanälen

$P_s$ : Paire réservée au signal de synchronisation – Aderpaar, das für die Übertragung der Synchronisationszeichen reserviert ist

R: Répéteur des signaux codés – Leitungsverstärker

RS: Répéteur pour signal de synchronisation – Leitungsverstärker für die Synchronisationszeichen

ation et de la régénération des impulsions au moyen de répéteurs.

### Comportement des câbles téléphoniques pour leur utilisation en PCM

La figure 2 représente l'affaiblissement en fonction de la fréquence pour l'une des paires d'une quarte ( $4 \times 0,8$  mm) d'un câble de 2 km. On remarque que l'affaiblissement croît très rapidement avec la fréquence au-dessus de 100 kHz.

La transmission correcte des signaux exige une compensation de cet affaiblissement considérable en hautes fréquences. Elle est réalisée au moyen d'un amplificateur correcteur adéquat.

Un autre effet dont il faut tenir compte est la diaphonie qui augmente considérablement avec la fréquence. Elle constitue un facteur de limitation pour la longueur que l'on peut donner à un tronçon de ligne, c'est-à-dire la distance séparant deux amplificateurs-correcteurs. En effet, les signaux arrivant en bout de ligne peuvent se confondre avec les signaux perturbateurs des paires voisines.

En admettant un écart diaphonique de 20 dB, on trouve une distance entre répéteurs de 2 km environ pour 24 voies par paire.

Néanmoins, pour la transmission d'impulsions, l'écart diaphonique tolérable est beaucoup plus faible que celui exigé pour une liaison téléphonique ordinaire ou à courants porteurs. Cela a pour conséquence qu'un câble téléphonique ordinaire peut être utilisé, sans équilibrage spécial, pour la transmission des signaux PCM, alors que cela n'est pas possible pour un système à courants porteurs ou pour une transmission PAM.

Im folgenden werden die Eigenschaften eines Aderpaares untersucht und die sich daraus ergebende Notwendigkeit aufgezeigt, die Impulse zu verstärken und zu regenerieren, wozu besondere Leitungsverstärker verwendet werden.

### Die Eigenschaften von Telephonkabeln bei der Verwendung zur Übertragung von PCM-Signalen

Figur 2 zeigt den Verlauf der Dämpfung in Funktion der Frequenz für ein Aderpaar eines Vierers ( $4 \times 0,8$  mm) aus einem Kabel von 2 km Länge. Dabei fällt vor allem das starke Ansteigen der Dämpfung über 100 kHz auf.

Um die richtige Übertragung der Signale zu gewährleisten, ist eine Kompensation dieser bei hohen Frequenzen beträchtlichen Dämpfung notwendig, die mit Hilfe eines Entzerrer-Verstärkers vorgenommen wird.

Zudem muss einem weiteren Effekt, dem mit zunehmender Frequenz stark ansteigenden Nebensprechen, Rechnung getragen werden. Dieses setzt der Länge eines Verstärkerabschnittes eine obere Grenze.

Nimmt man an, dass ein Signal-Nebensprechabstand von 20 dB noch zulässig ist, so ergibt sich – bei 24 Kanälen je Aderpaar – ein Verstärkerabstand von ungefähr 2 km. Die für eine PCM-Übertragung noch zulässigen Nebensprechwerte sind bedeutend kleiner als jene, die man für herkömmliche Niederfrequenz- oder Trägertelephonie fordern muss. Aus diesem Grunde ist es auch möglich, normale Telephonkabel ohne zusätzlichen Abgleich zur Übertragung von PCM-Signalen zu verwenden, während dies für Trägersysteme oder solche mit Puls-Amplitudenmodulation (PAM) nicht der Fall wäre.

### Entzerrung und Verstärkung der Signale

Um die Signaldämpfung möglichst auszugleichen, sucht man ein System zu finden, für das die Ver-

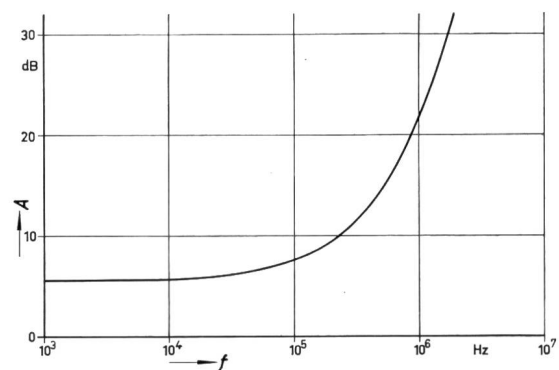


Fig. 2

Affaiblissement d'une paire de  $2 \times 0,8$  mm de diamètre pour une longueur du câble de 2 km

Dämpfung in Funktion der Frequenz für ein Aderpaar  $2 \times 0,8$  mm Kabellänge 2 km

A: Affaiblissement – Dämpfung

f: Fréquence – Frequenz

## Correction et amplification des signaux

Afin de compenser exactement l'atténuation subie par le signal, on recherche un système dont la courbe de gain en fonction de la fréquence suit au plus près celle de l'affaiblissement du câble pour la plus grande gamme de fréquences possible. A titre d'exemple, un amplificateur-correcteur, basé sur le principe des amplificateurs opérationnels, est donné par la *figure 3*.

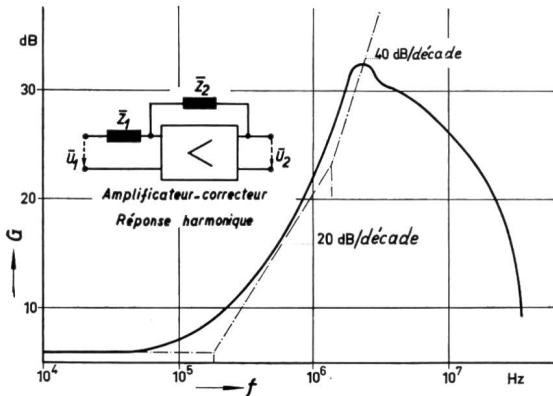


Fig. 3

Amplificateur-correcteur, schéma et courbe de gain Entzerrer-Verstärker; Schema und Verstärkungskurve

- $G$ : Gain de l'amplificateur - Verstärkung  
 $f$ : Fréquence - Frequenz  
 $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2$ : Impédances de contre-réaction - Gegenkopplungsimpedanzen  
 $\bar{U}_1$ : Tension à l'entrée du répéteur - Eingangsspannung des Leitungsverstärkers  
 $\bar{U}_2$ : Tension à la sortie de l'amplificateur-correcteur - Ausgangsspannung des Entzerrer-Verstärkers

La première pente (20 dB/décade) est obtenue par l'impédance  $\bar{Z}_1$  constituée par un circuit  $RC$  en parallèle. L'impédance  $\bar{Z}_2$  comporte les éléments  $R$  et  $L$  en série et permet de réaliser le deuxième tronçon de la courbe dont la pente globale est alors de 40 dB/décade. La baisse en haute fréquence est due à la caractéristique de l'amplificateur. La *figure 4* représente la réponse harmonique globale de la chaîne comportant la ligne plus l'amplificateur-correcteur et les translateurs. On constate l'effet de la compensation sur une bande de fréquences allant de 15 kHz à 1,8 MHz ( $-3$  dB).

D'autre part, le système étant destiné à transmettre des impulsions, il est intéressant d'en étudier la réponse indicielle et la réponse à une impulsion rectangulaire.

Les courbes de réponse indicielle représentées à la *fig. 5* sont celles d'une paire de 2 km sans, puis avec l'amplificateur-correcteur. On constate que le temps de montée de la réponse indicielle est nettement amélioré dans le second cas.

La *figure 6* représente les courbes de réponse à une impulsion rectangulaire de la même paire sans, puis avec l'amplificateur-correcteur. L'impulsion sans correction est inutilisable, car elle chevaucherait l'impulsion suivante.

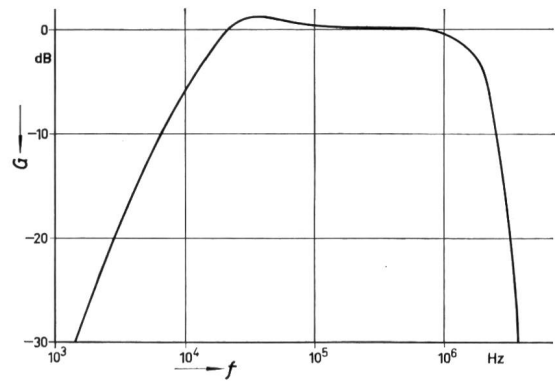


Fig. 4

Réponse harmonique globale de la chaîne comportant la ligne plus l'amplificateur-correcteur et les translateurs

Frequenzgang der Kaskadenschaltung von Leitung, Übertrager und Entzerrer-Verstärker

stärkung über eine möglichst grosse Frequenzspanne dem Dämpfungsverlauf folgt. Als Beispiel eines solchen Entzerrer-Verstärkers wird in *Figure 3* eine Schaltung nach dem Prinzip der Operationsverstärker gezeigt.

Der erste Anstieg der Verstärkungskurve (20 dB/Dekade) wird von der Impedanz  $\bar{Z}_1$  bewirkt, die aus einer Parallelschaltung von  $R$  und  $C$  besteht. Die Impedanz  $\bar{Z}_2$  enthält die Elemente  $R$  und  $L$  in Serie und gestattet dadurch dem zweiten Abschnitt der Kurve eine Steigung von 40 dB/Dekade zu geben. Der nachfolgende Abfall der Verstärkung bei hohen Frequenzen ist dem Verstärker selbst zuzuschreiben. In *Figure 4* ist der Frequenzgang der Kaskadenschaltung von Leitung, Übertrager und Entzerrer-Verstärker dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass eine Kompensation im Frequenzband 15 kHz...1,8 MHz ( $-3$  dB-Punkte) erreicht wurde.

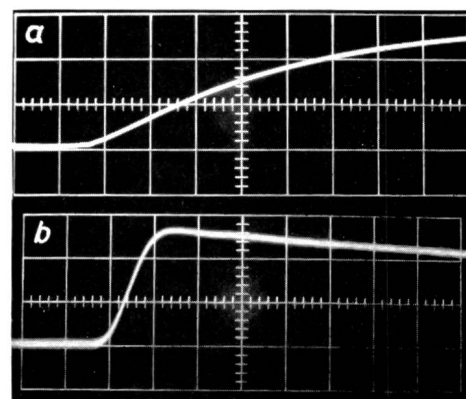


Fig. 5

Courbe de réponse indicielle Sprungfunktion nach Durchlaufen eines Leitungsabschnittes

- $a$ : d'une paire de 2 km seule - für ein 2 km langes Aderpaar allein  
 $b$ : de la même paire avec l'amplificateur-correcteur, échelle verticale 0,5 V/div., échelle horizontale 0,4  $\mu$ s/div., excitation: saut de 2 V - Für dasselbe Aderpaar, aber mit Entzerrer-Verstärker, Vertikalmasstab 0,5 V/div., Horizontalmasstab 0,4  $\mu$ s/div., Eingangssignal: Sprung von 2 V

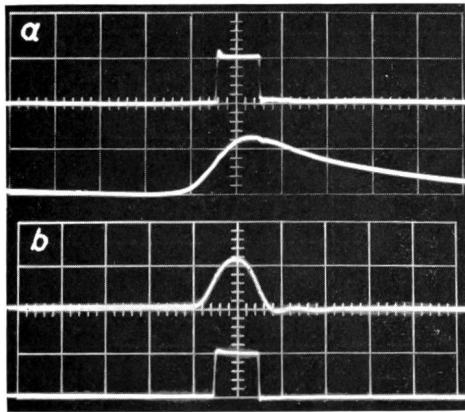


Fig. 6

Courbe de réponse à une impulsion rectangulaire  
Impuls nach Durchlaufen eines Leitungsabschnittes

- a: Paire de 2 km seule. Trace du haut: impulsion émise (2 V/div.). Trace du bas: impulsion parvenant en bout de ligne (0,2 V/div.) – Für ein 2 km langes Aderpaar allein. Oberes Oszillogramm: ausgesendeter Impuls (2 V/div.). Unteres Oszillogramm: am Ende der Leitung erscheinender Impuls (0,2 V/div.)
- b: Paire de 2 km avec l'amplificateur-correcteur. Trace du bas: impulsion émise (2 V/div.). Trace du haut: impulsion après la correction (1 V/div.) – Für ein 2 km langes Aderpaar mit Entzerrer-Verstärker. Unteres Oszillogramm: Ausgesendeter Impuls (2 V/div.). Oberes Oszillogramm: Impuls nach der Entzerrung.

Echelle horizontale 0,5  $\mu$ s/div. – Horizontalmassstab 0,5  $\mu$ s/div.

### Régénération des impulsions

La correction des impulsions qui se révèle nécessaire n'est pourtant pas suffisante lorsqu'il s'agit d'une transmission sur un nombre élevé de tronçons de ligne. Pour le démontrer, choisissons un exemple quelque peu différent mais facilement accessible aux calculs.

Supposons que l'ensemble formé par un tronçon de ligne et un amplificateur-correcteur ait pour courbe de réponse la fonction de Gauss :

$$G(\omega) = K \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 T_1^2}$$

Elle est représentée par un bloc à la figure 7. Le signal émis  $f_1(t)$  sera transformé en  $f_2(t)$  après le premier tronçon, en  $f_3(t)$  après le deuxième tronçon et ainsi de suite. On admet que  $f_1(t)$  est une fonction de Gauss caractérisée par le temps  $T_1$  :

$$f_1(t) = e^{-\left(\frac{t}{T_1}\right)^2}$$

Son spectre est donné par :

$$S_1(\omega) = A_1 \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 T_1^2}$$

qui est également une fonction de Gauss.

Le spectre de  $f_2(t)$  :

$$S_2(\omega) = A_2 \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 (T_1^2 + T_1^2)}$$

s'obtient en multipliant le spectre  $S_1(\omega)$  par la fonction de transfert  $G(\omega)$ . On obtient toujours une fonction de Gauss pour  $S_2(\omega)$  et pour  $f_2(t)$  :

Da das ganze System der Übertragung von Impulsen dienen soll, ist es nun auch interessant, die Antwort auf einen Spannungssprung und einen Rechteckimpuls zu bestimmen.

Für den ersten Fall werden die entsprechenden Kurven in *Figur 5* gezeigt und zwar zuerst für ein 2 km langes Kabel allein und hierauf zusammen mit dem Entzerrer-Verstärker. Der Vergleich zeigt sofort, dass durch den Entzerrer die Anstiegszeit wesentlich verbessert wird.

In *Figur 6* ist die Antwort auf einen Rechteckimpuls dargestellt, wiederum zuerst für das gleiche Aderpaar allein und dann nach Hinzuschalten des Entzerrer-Verstärkers. Ohne Entzerrung wäre der vom Kabel übertragene Impuls unbrauchbar, da er sich mit benachbarten Impulsen überlappen würde.

### Die Regenerierung von Impulsen

Obschon es sich als notwendig erwiesen hat, einen Entzerrer zu verwenden, ist diese Massnahme allein noch nicht ausreichend für die Übertragung über eine grössere Zahl aufeinanderfolgender Leitungsabschnitte. Das entsprechende Problem kann an einem mathematisch leicht erfassbaren Modell gezeigt werden. Man nimmt dabei an, dass für einen Leitungsabschnitt zusammen mit dem Entzerrer-Verstärker der Frequenzgang als *Gauss*-Kurve dargestellt werden kann :

$$G(\omega) = K \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 T_1^2}$$

In *Figur 7* findet sich dafür schematisch der Block  $G(\omega)$ . Das anfänglich ausgesandte Signal  $f_1(t)$  wird nach und nach in  $f_2(t)$  nach dem ersten Abschnitt,  $f_3(t)$  nach dem zweiten Abschnitt und allgemein  $f_n(t)$  nach dem  $(n-1)$ -ten Abschnitt deformiert. Nimmt man der Einfachheit halber zusätzlich an, dass auch  $f_1(t)$  durch eine *Gauss*-Kurve

$$f_1(t) = e^{-\left(\frac{t}{T_1}\right)^2}$$

gegeben ist, so bestimmt sich das zugehörige Spektrum zu

$$S_1(\omega) = A_1 \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 T_1^2}$$

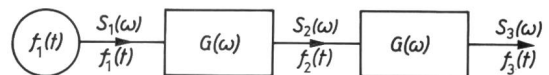


Fig. 7

Simulation d'une transmission sur un nombre élevé de tronçons de ligne et d'amplificateurs-correcteurs

Nachbildung der Übertragung auf einer grösseren Anzahl Verstärkerabschnitte (Kabel + Entzerrer-Verstärker)

$G(\omega)$ : Ensemble formé par un tronçon de ligne et un amplificateur-correcteur – Übertragungsfunktion eines Leitungsabschnittes + Entzerrer-Verstärker

$f_1(t)$ : Signal émis – Eingangssignal

$f_2(t), f_3(t)$ : Signal après passage dans les tronçons de ligne successifs – Signal nach Durchlaufen aufeinanderfolgender Verstärkerabschnitte

$S_1(\omega), S_2(\omega), S_3(\omega)$ : Spectres des fonctions  $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$  – Spektren der Funktionen  $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$

$$f_2(t) = e^{-\left(\frac{t}{T_2}\right)^2}$$

avec  $T_2 = \sqrt{T_1^2 + T_f^2}$

On a, de même:

$$S_3(\omega) = A_3 e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 (T_1^2 + 2T_f^2)}$$

et

$$f_3(t) = e^{-\left(\frac{t}{T_3}\right)^2}$$

avec

$$T_3 = \sqrt{T_1^2 + 2T_f^2}$$

Chaque nouveau temps caractéristique  $T_n$  est supérieur au précédent et augmente selon la loi simple:

$$T_n = \sqrt{T_1^2 + (n-1)T_f^2}$$

Les courbes représentées à la *figure 8* montrent la déformation du signal  $f_1(t)$  lors de son passage à travers les systèmes  $G(\omega)$ . Cette déformation est caractérisée par un élargissement du signal  $f_1(t)$ .

Pratiquement, la fonction de transfert de l'ensemble formé par un tronçon de ligne et un amplificateur-correcteur n'est pas une fonction de Gauss; mais on constate également un élargissement des impulsions avec l'augmentation du nombre de tronçons. Cet élargissement conduit à un chevauchement des impulsions, de sorte qu'il devient finalement impossible de les distinguer les unes des autres. Il est donc indispensable de les régénérer après leur correction et amplification, c'est-à-dire de les mettre en forme et de leur donner une durée bien déterminée. A titre d'exemple, la *figure 9* montre un discriminateur à diode-tunnel étudié au laboratoire d'Electronique de l'EPUL.

La présence d'une impulsion est détectée au-dessus d'un certain niveau, nommé seuil, que l'on peut ajus-

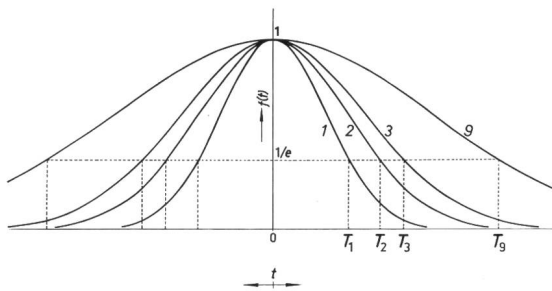


Fig. 8

Déformation d'un signal  $f_1(t)$  (courbe de Gauss) après des passages successifs dans les systèmes  $G(\omega)$

Verzerrung eines Signals  $f_1(t)$  (Gauss-Kurve) nach wiederholtem Durchlaufen von Systemen  $G(\omega)$

Les courbes 1, 2, 3, 9 correspondent aux fonctions  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$ ,  $f_3(t)$ ,  $f_9(t)$  - Die Kurven 1, 2, 3, 9 entsprechen den Signalen  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$ ,  $f_3(t)$ ,  $f_9(t)$

$T_1, T_2, T_3, T_9$ : Temps caractéristiques des fonctions  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$ ,  $f_3(t)$ ,  $f_9(t)$  - Charakteristische Zeiten der Funktionen  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$ ,  $f_3(t)$ ,  $f_9(t)$

$e$ : Base du logarithme népérien - Basis des natürlichen Logarithmus

$t$ : Temps - Zeit

was wiederum eine Funktion gleichen Typs darstellt. Auf diese Weise ergibt sich das Spektrum  $S_2(\omega)$  von  $f_2(t)$  durch Multiplikation von  $S_1(\omega)$  mit der Übertragungsfunktion  $G(\omega)$  als

$$S_2(\omega) = A_2 \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 (T_1^2 + T_f^2)}$$

Durch Rücktransformation gewinnt man daraus

$$f_2(t) = e^{-\left(\frac{t}{T_2}\right)^2}$$

also wiederum eine *Gauss*-Kurve mit der Konstanten

$$T_2 = \sqrt{T_1^2 + T_f^2}$$

In gleicher Weise erhält man

$$S_3(\omega) = A_3 e^{-\left(\frac{\omega}{2}\right)^2 (T_1^2 + 2T_f^2)}$$

sowie

$$f_3(t) = e^{-\left(\frac{t}{T_3}\right)^2}$$

wobei

$$T_3 = \sqrt{T_1^2 + 2T_f^2} \text{ ist.}$$

Allgemein gilt das einfache Gesetz

$$T_n = \sqrt{T_1^2 + (n-1)T_f^2}$$

das bedeutet, dass die charakteristische Zeit  $T_n$  mit wachsender Zahl Abschnitte ständig zunimmt. *Figur 8* zeigt die allmähliche Verformung des Signals  $f_1(t)$  beim Durchgang durch aufeinanderfolgende Blöcke  $G(\omega)$ , die sich in einer typischen Verbreiterung ausdrückt.

Die Übertragungsfunktion eines Leitungsabschnittes mit nachfolgendem Entzerrer-Verstärker ist in Wirklichkeit nicht durch eine *Gauss*sche Funktion gegeben; dennoch lässt sich auch in der Praxis eine Verflachung der Impulse mit zunehmender Zahl der Abschnitte beobachten. Dieser Effekt hat ein Überlappen der Impulse zur Folge, so dass die Impulse schliesslich nicht mehr voneinander unterschieden werden können. Aus diesem Grunde wird es nötig, sie nach jedem Entzerrer-Verstärker zu regenerieren, das heisst ihnen wieder eine bestimmte Form von definierter Breite zu geben. Als Beispiel zeigt *Figur 9* eine dazu verwendete Schaltung, einen mit einer Tunnel diode arbeitenden Regenerator, der im Elektronik-Laboratorium der EPUL in Lausanne untersucht wird.

Ein Impuls wird als solcher erkannt, wenn seine Höhe einen gewissen Schwellwert überschreitet. Dieser Schwellwert, der die Empfindlichkeit des Systems bestimmt, ist einstellbar und wird mit einer Tunnel diode verwirklicht. Der Verlauf ihrer Klemmenspannung macht bekanntlich einen deutlichen Sprung, sobald der eingepreßte Strom den Wert  $I_p$  (Strom-Maximum) überschreitet. Unter Berücksichtigung von Stör-

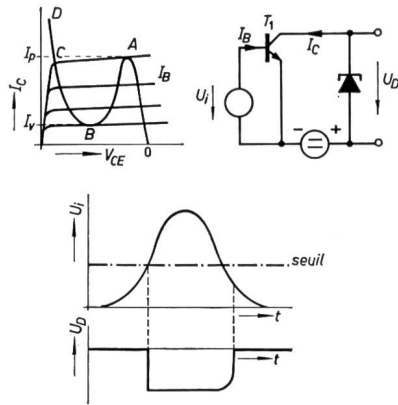


Fig. 9

Principe de la discrimination des impulsions  
Prinzip der Impulsregenerierung

- $I_B$ : Courant de base - Basisstrom
- $I_C$ : Courant de collecteur - Kollektorstrom
- $I_p$ : Courant de pic - Strom-Maximum
- $I_v$ : Courant de vallée - Strom-Minimum
- $T_1$ : Transistor - Transistor
- $t$ : Temps - Zeit
- $U_i$ : Signal à discriminer - zu regenerierendes Signal
- $U_D$ : Signal de sortie - Ausgangssignal
- $V_{CE}$ : Tension collecteur-émetteur - Kollektor-Emitterspannung
- $A, B, C, D$ : Points caractérisant les changements d'état - Für die Zustandsänderungen charakteristische Punkte

ter et qui caractérise la sensibilité du système. Ce niveau est fourni par une diode-tunnel qui accuse à ses bornes un saut très brusque de tension si le courant dépasse une certaine valeur appelée courant de pic  $I_p$ . Un seuil de discrimination à la demi-amplitude du signal est la condition optimum de sensibilité, eu égard aux signaux parasites.

Le signal à régénérer  $U_i$  provenant de l'amplificateur-correcteur est appliqué sur la base du transistor  $T_1$ . Dès que le courant  $I_c$  dépasse la valeur  $I_p$ , on passe, sur la caractéristique de la diode-tunnel, du tronçon  $OA$  au tronçon  $CD$ , ce qui se traduit par un brusque saut de la tension  $U_D$ . Quand  $I_c$  devient plus petit que  $I_v$ , on retombe sur le tronçon  $OA$ . La discrimination par diode-tunnel a donc comme effet de redonner à une impulsion étalée des fronts raides.

Toutefois la durée d'une impulsion ainsi obtenue n'est pas fixée: elle est d'autant plus grande que le signal à régénérer est plus étalé. L'impulsion peut donc dégénérer en durée et même être déplacée dans le temps. Il est nécessaire dès lors de procéder à une synchronisation des impulsions tout en fixant exactement leur durée. On obtient cela en envoyant sur le répéteur un signal d'horloge qui rend sensible le discriminateur pendant une durée bien déterminée.

Problèmes liés à la valeur moyenne du signal à transmettre

La présence des translateurs à l'entrée et à la sortie de chaque répéteur empêche la transmission de toute grandeur continue. Pour éviter une perte d'information, il faut choisir un mode de codage assurant au signal transmis une valeur moyenne constante ou

signalen ergibt sich, dass für optimale Empfindlichkeit der Schwellwert gleich der halben Signalamplitude sein soll.

Nach dem Entzerrer-Verstärker wird das zu regenerierende Signal  $U_i$  an die Basis des Transistors  $T_1$  gelegt. Sobald der Kollektorstrom  $I_c$  den Wert  $I_p$  überschreitet, springt der Arbeitspunkt auf der Tunnelioden-Charakteristik vom Abschnitt  $OA$  auf den Abschnitt  $CD$  über. Diesem Vorgang entspricht eine abrupte Änderung der Spannung  $U_D$ . Wenn umgekehrt der Strom  $I_c$  kleiner als  $I_v$  wird, fällt man auf den Kennlinienabschnitt  $OA$  zurück. Demzufolge vermag man mit dem Tunneliodendiskriminator den ausgedehnten Impulsen wieder steile Flanken zu geben.

Nun ist aber die Dauer eines solchermassen erzeugten Impulses noch keineswegs bestimmt, weil sie um so grösser wird, je «verschmierter» das zu regenerierende Signal war. Man erhält also nicht nur Impulse von zu grosser Dauer, sondern auch in verschobener Zeitlage. Es wird daher notwendig, durch ein Synchronisiersignal die Impulsdauer genau zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wird dem Regenerator ein Taktsignal zugeführt (Fig. 1), das den Diskriminator nur für eine wohldefinierte Zeit «aktiviert».

Probleme im Zusammenhang mit dem Gleichstrommittelwert des Leitungssignals

Die Verwendung von Übertragern am Ein- und Ausgang jedes Leistungsverstärkers schliesst die Übertragung jeglichen Gleichstromwertes aus. Um einen Informationsverlust zu verhindern, muss daher eine Codierungsart gewählt werden, die es gestattet, dem übertragenen Signal einen konstanten Gleichstrommittelwert oder einen solchen der Grösse 0 zu geben.

Aus der Vielfalt der möglichen Verfahren seien die in *Figur 10* gezeigten Beispiele angeführt.

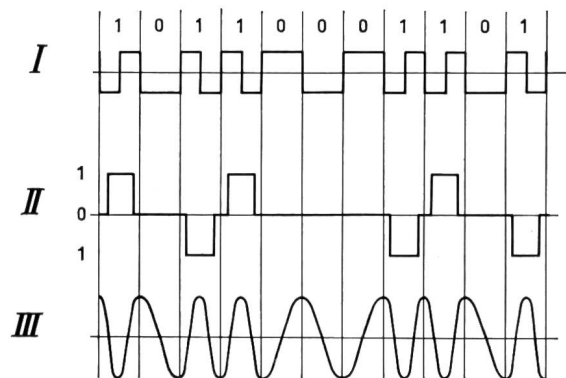


Fig. 10

Exemples de codage des impulsions  
Beispiele von Codierungsmethoden

- I*: Codage biphasé - «Bi-Phase-Mark»-Code
- II*: Codage par impulsions - Bipolarer Code
- III*: Codage biphasé sinusoïdal alterné - Zweifrequenz-Code

nulle. Parmi les multiples procédés existants, on peut donner les exemples représentés à la *figure 10*.

I. Ce mode de transmission est défini par un changement d'état au début de chaque bit. Le signal «un» est caractérisé par un deuxième changement d'état au «milieu» du bit; par contre, l'état zéro n'entraîne aucun changement d'état supplémentaire.

II. Le signal transmis a trois états possibles: impulsion (positive ou négative) correspondant au signal «un» et absence d'impulsion correspondant au signal «zéro». La polarité des impulsions est alternée à chaque «un».

III. Un troisième exemple de transmission est le codage biphasé sinusoïdal, c'est une variante du premier mode de codage exposé ci-dessus. Le signal «un» est caractérisé par une fréquence double de celle du signal «zéro».

### Conclusion

La transmission des impulsions provenant d'un système PCM au moyen de câbles téléphoniques ordinaires basse fréquence présente de multiples aspects et pose des problèmes qui sont actuellement à l'étude. Ce procédé permettra, à l'avenir, d'utiliser des câbles déjà existants en augmentant considérablement leur capacité de transmission.

**Adresse des auteurs:** C. Yechouroun, ingénieur diplômé, et G. Vuffray, ingénieur diplômé, Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, 16, chemin de Bellerive, 1000 Lausanne.

---

Die Klischees der auf den Seiten 166...191 veröffentlichten Artikel wurden uns freundlicherweise vom Bulletin des SEV zur Verfügung gestellt.

I. Diese Übertragungsart wird durch eine Zustandsänderung zu Beginn jedes bit charakterisiert. Einer «Eins» entspricht eine zweite Zustandsänderung in der «Mitte» eines bits, während eine «Null» keine zusätzliche Änderung zur Folge hat.

II. Das Leitungssignal kann drei mögliche Zustände einnehmen: Eine «Eins» wird durch positive oder negative Impulse dargestellt, und das Fehlen eines Impulses entspricht dem Signal «Null». Die Polarität der Impulse wechselt mit jeder «Eins».

III. Als drittes Beispiel eines Leitungssignales ist die Frequenzumtastung einer Sinusschwingung anzuführen, eigentlich eine Variante der im ersten Beispiel gezeigten Codierungsart. Der Zustand «Eins» wird durch eine doppelt so grosse Frequenz dargestellt als jene des Signals «Null».

### Schlussbemerkung

Die Übertragung von Impulsen aus einem PCM-System mit Hilfe normaler Niederfrequenz-Telefonkabeln weist manche Gesichtspunkte auf und zeigt Probleme, die gegenwärtig studiert werden. Das PCM-Verfahren wird es in Zukunft gestatten, die Übertragungskapazität von bereits bestehenden Kabeln beträchtlich zu erhöhen.

---

Le Bulletin de l'ASE a aimablement mis à notre disposition les clichés des articles publiés aux pages 166...191.