

**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:** 49 (1971)

**Heft:** 3

**Artikel:** Diskussion einiger Probleme der Geräuschmessung auf Übertragungssystemen = Discussion de quelques problèmes de mesure du bruit sur les systèmes de transmission

**Autor:** Pfyffer, Hans Karl / Suremann, Max

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874265>

### **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>**

# Diskussion einiger Probleme der Geräuschmessung auf Übertragungssystemen

## Discussion de quelques problèmes de mesure du bruit sur les systèmes de transmission

Hans Karl PFYFFER und Max SUREMANN, Bern

621.317.34:621.395.4  
621.391.822:621.395

*Zusammenfassung. Infolge der besonderen statistischen Eigenschaften der Sprachsignale im Telephonkanal stellen sich Probleme bei der messtechnischen Erfassung der Geräuschverhältnisse auf gewissen Übertragungssystemen, wenn als Messsignal Rauschen mit gaußscher Amplitudenstatistik verwendet wird. Es wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert, die den Eigenschaften der Sprachsignale angenähert entspricht. Die Geräuschverhältnisse einschliesslich der Einwirkung der Begrenzung werden für verschiedene Signale untersucht. Weiter wird ein sprachsimulierender Rauschgenerator beschrieben, dessen Signal statistische Eigenschaften ähnlich jenen der mittleren Sprachsignale im Telephonkanal aufweist. Einige Messergebnisse werden aufgeführt und mit den theoretischen Erwartungen verglichen.*

*Résumé. Les caractéristiques statistiques particulières des signaux vocaux dans la voie téléphonique soulèvent certains problèmes lors de la mesure technique des conditions de bruit sur les systèmes de transmission (systèmes à courants porteurs à petit nombre de voies, modulateurs de voies, systèmes MIC), si on utilise comme signal de mesure un bruit d'amplitude gaussienne. Les auteurs définissent une probabilité de répartition correspondant approximativement aux caractéristiques des signaux vocaux et analysent les conditions de bruit, y compris l'influence de la limitation, pour différents signaux. Puis ils décrivent un générateur de bruit simulant les courants vocaux, dont le signal possède des caractéristiques statistiques analogues à celles des signaux vocaux moyens dans la voie téléphonique. Ils citent quelques résultats de mesures et les comparent avec les probabilités théoriques. Enfin, ils discutent brièvement la problématique du calcul du bruit de limitation.*

### **Discussione di alcuni problemi inerenti alla misurazione dei rumori su sistemi di trasmissione**

*Riassunto. In occasione delle misurazioni di rilievo riguardanti le condizioni dei rumori su sistemi di trasmissione sorgono, a causa delle particolari proprietà statistiche dei segnali vocali nel canale telefonico, certi problemi (sistemi a vettori con numero limitato di canali, traspositori di canali, sistemi PCM), se, quale segnale di misurazione, si utilizza rumore con statistica di ampiezza con una distribuzione secondo Gauss. In una relazione vien definita una ripartizione di probabilità, corrispondente pressappoco alle proprietà del segnale vocale. Si esaminano per diversi segnali le condizioni dei rumori, compresa l'incidenza delle limitazioni. Inoltre si descrive un generatore di rumore che simula il segnale vocale, che ha proprietà statistiche simili a quelle d'un segnale vocale in un canale telefonico. Vengono elencati alcuni risultati di misurazioni e quindi confrontati con i fattori teorici. Si discute poi brevemente la problematica della definizione aritmetica di rumore di limitazione.*

### **1. Einleitung**

Für die messtechnische Beurteilung der Übertragungsqualität von Telephoniesystemen ist die Wahl der verwendeten Signale von wesentlicher Bedeutung. Die Messungen sollen gestatten, einerseits Schlüsse über das im Betrieb zu erwartende Verhalten zu ziehen, andererseits werden mittels Messmethoden und den damit gewonnenen Resultaten wichtige Systemparameter definiert, die für den Entwicklungsingenieur bei der Dimensionierung der Schaltungen von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Für einen grossen Teil der Messungen an Analogsystemen werden Sinussignale verwendet; in vielen Fällen wird damit ausreichende Auskunft über das Systemverhalten erhalten. (Zum Beispiel Frequenzabhängigkeit der Dämpfung, Nebensprechen, Impedanzen, Symmetrie usw.). Etwas anders liegt der Fall bei Geräuschuntersuchungen. Bekanntlich haben die Sprachsignale Charakteristiken, die sowohl von Sinussignalen als auch von bandbegrenztem weissem Rauschen mit gaußscher Amplitudenwahrscheinlichkeitsverteilung beträchtlich abweichen (siehe Fig. 1).

Auf Frequenzmultiplex-Übertragungssystemen, wo eine grosse Zahl von unabhängigen Sprachsignalen, frequenzmässig nebeneinanderliegend, gleichzeitig vorhanden sind, nimmt das Summsignal die Eigenschaften von weissem Rauschen mit normaler Amplitudenverteilung an. Davon wird bei der Messung solcher Systeme eingehend Gebrauch

### **1. Introduction**

Pour mesurer la qualité de transmission de systèmes téléphoniques, il est primordial de choisir avec soin les signaux utilisés. D'une part, les mesures doivent permettre de tirer des conclusions sur le comportement à attendre en service, d'autre part, des méthodes de mesure et les résultats ainsi obtenus aident à définir des paramètres de systèmes, d'une importance décisive pour l'ingénieur chargé de mettre au point les dimensions des circuits.

Pour une grande partie des mesures sur les systèmes analogiques, on utilise des signaux sinusoïdaux qui fournissent, dans nombre de cas, des renseignements suffisants sur le comportement des systèmes (par exemple affaiblissement en fonction de la fréquence, diaphonie, impédance, symétrie, etc.). Mais le cas est quelque peu différent pour les analyses du bruit, car il est bien connu que les signaux vocaux ont des caractéristiques qui s'écartent considérablement des signaux sinusoïdaux et du bruit blanc à bande passante limitée à répartition d'amplitude selon la loi des probabilités de Gauss (voir fig. 1).

Sur les systèmes de transmission à multiplex de fréquences, par lesquels sont transmis simultanément un grand nombre de signaux vocaux indépendants mais adjacents sous le rapport de la fréquence, le signal total prend les propriétés du bruit blanc à répartition d'amplitude normale. Il est fait largement usage de ce principe lors de la mesure

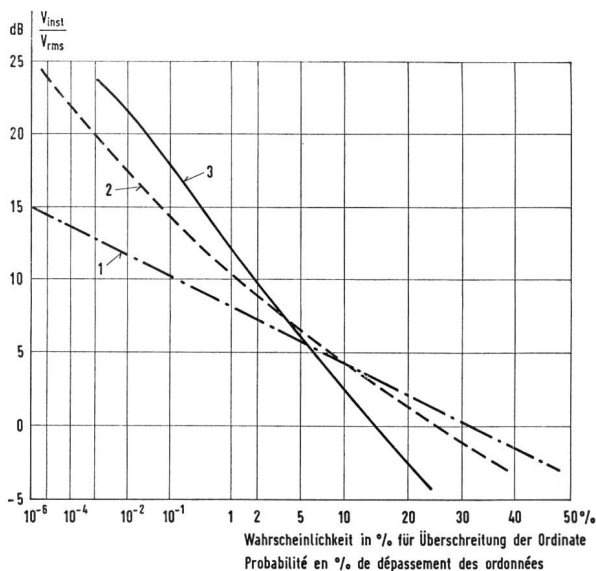


Fig. 1

Wahrscheinlichkeitsverteilung  
Momentanwert/Effektivwert  $V_{inst}/V_{rms}$

- ① Weisses Rauschen mit Normalverteilung (Gauss)
- ② Summenseignal in Primärgruppe
- ③ Sprache im Telefonkanal

Probabilität de répartition

Valeur instantanée/Valeur efficace  $V_{inst}/V_{eff}$ .

- ① Bruit blanc à répartition normale (Gauss)
  - ② Signal global dans le groupe primaire
  - ③ Parole dans la voie téléphonique
- $V_{rms} = V_{eff}$

gemacht; es handelt sich um die bekannte Rauschklimm-messung. Das System wird mit einem Rauschsignal, das in Frequenzband und Leistung dem mittleren Summenseignal entspricht, belastet (sogenannte konventionelle Belastung); die infolge der nichtlinearen Übertragungskennlinie entstehenden Intermodulationsgeräusche sowie die Auswirkungen von nicht idealen Filterkurven können auf geeignete Weise erfasst werden [1].

Anders verhält es sich bei Systemen und Teilen davon, die nur einen einzelnen oder einige wenige Sprachkanäle gleichzeitig übertragen. Hier stösst die Simulierung der wirklichen Verhältnisse auf gewisse Schwierigkeiten, da die tatsächlich vorhandenen Signale nicht mehr gaussische statistische Eigenschaften haben und es oft an geeigneten Signalquellen fehlt.

Sinussignale lassen sich in der Regel auf einfache und bekannte Weise erzeugen. Rauschsignale mit gaussischer Amplitudenverteilung können zum Beispiel aus thermischem Widerstandsrauschen oder Verteilungsrauschen in Röhren oder Halbleitern erzeugt werden. Weisses Rauschen mit gaussischer Amplitudenstatistik wird im Sinne einer Kom-

de tels systèmes, connue sous le nom de mesure du bruit à l'aide d'un signal à spectre uniforme. Le système est chargé (charge conventionnelle) par un signal de bruit, dont la bande de fréquences et la puissance correspondent au signal moyen; il peut être tenu compte de façon appropriée des bruits d'intermodulation engendrés par la caractéristique de transmission non linéaire ainsi que des effets dus aux propriétés non idéales des filtres [1].

Il en est tout autrement pour les systèmes et parties de systèmes qui ne transmettent simultanément qu'une seule voie téléphonique ou qu'un petit nombre de voies. La simulation des conditions réelles se heurte à certaines difficultés, les signaux transmis effectivement n'ayant plus les propriétés statistiques gaussiennes et les sources de signal faisant souvent défaut.

En règle générale, les signaux sinusoïdaux sont produits de façon simple et connue. Des signaux de bruit à répartition d'amplitude gaussienne peuvent être engendrés par exemple à partir de bruits thermiques de résistances ou de bruits de distribution dans des tubes ou des semi-conducteurs. Dans nombre de cas, le bruit blanc à statistique d'amplitude gaussienne est aussi employé, à titre de compromis, pour la mesure sur des systèmes ayant un petit nombre de voies. Il est alors nécessaire de corriger en conséquence les niveaux ou les résultats de mesures, pour se prononcer sur les conditions de bruit à attendre dans l'exploitation.

## 2. Signaux simulant les courants vocaux et leurs propriétés

### a) Probabilité de répartition en amplitude

Le bruit blanc à répartition d'amplitude gaussienne est caractérisé par la densité de probabilité suivante:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

La grandeur  $\sigma$  représente la valeur efficace et indique en même temps l'écart type de la répartition normale. Comme nous l'avons déjà mentionné, le signal total présente une répartition d'amplitude normale lorsque le nombre de correspondants s'entretenant sur des systèmes à courants porteurs est élevé.

Pour quatre personnes parlant simultanément, B. B. Jacobsen a défini dans son article [2] une fonction qui s'applique fréquemment pour représenter approximativement des signaux dans une voie téléphonique isolée. Le signal est donné par la formule suivante:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2} S_0} \exp\left(-\left|\frac{x}{S_0}\right| \cdot \sqrt{2}\right) \quad (2)$$

$S_0$  est la valeur efficace.

promisslösung in vielen Fällen auch für die Messung an Systemen mit kleiner Kanalzahl verwendet. Entsprechende Korrekturen der Messpegel oder der Messresultate sind dann erforderlich, um auf die im Betrieb zu erwartenden Geräuschverhältnisse zu schliessen.

## 2. Sprachsimulierende Signale und deren Eigenschaften

### a) Amplituden-Wahrscheinlichkeitsverteilung

Weisses Rauschen mit gausscher Amplitudenverteilung ist durch folgende Wahrscheinlichkeitsdichte charakterisiert.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Die Grösse  $\sigma$  stellt den Effektivwert dar und bedeutet gleichzeitig die Standardabweichung der Normalverteilung. Wie erwähnt, besitzt das Summensignal bei grosser Sprecherzahl auf Trägerfrequenzsystemen eine normale Amplitudenverteilung.

Für vier gleichzeitige Sprecher wurde in [2] eine Funktion definiert, die auch vielerorts verwendet wird, um Signale in einem einzelnen Sprachkanal angenähert darzustellen. Das Signal ist wie folgt gegeben.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2}S_0} \exp\left(-\left|\frac{x}{S_0}\right| \cdot \sqrt{2}\right) \quad (2)$$

Der Effektivwert liegt bei  $S_0$ .

Werden die statistischen Eigenschaften von Sprachsignalen untersucht, dann zeigt es sich, dass die Signalspitzen in Wirklichkeit noch stärker hervortreten, als dies durch (2) zum Ausdruck gebracht wird. (Siehe auch Fig. 1, Kurve 3 für Sprachsignale und Fig. 2, Kurve 2 für die Darstellung des Ausdruckes (2)).

Um die hohen Spitzen im Sprachsignal zu berücksichtigen, sei die Wahrscheinlichkeitsdichte für folgendes Signal definiert:

$$p(x) = \frac{\sqrt{30}}{S_0} \exp\left(-\sqrt{\left|\frac{x}{S_0}\right| \cdot \sqrt{120}}\right) \quad (3)$$

Auch hier stellt  $S_0$  den Effektivwert dar.

Die Amplitudenverteilung ( $\int p(x) dx$ ) der drei Signale ist aus Figur 2 ersichtlich. Vergleicht man die gemessenen Kurven für Sprachsignale im Telephonkanal und in der Primärgruppe (Fig. 1) mit dem  $\exp(-\sqrt{|x|})$ - beziehungsweise  $\exp(-x)$ -Verlauf in Figur 2, dann lässt sich eine brauchbare Approximation feststellen. Zur Vereinfachung werden die drei durch (1), (2) und (3) definierten Signale im Folgenden als  $\exp(-x^2)$ -,  $\exp(-x)$ - und  $\exp(-\sqrt{|x|})$ -Rauschen bezeichnet.

Analyse-t-on les propriétés statistiques de signaux vocaux, on se rend compte que les pointes de signaux apparaissent en réalité de façon plus prononcée que ne l'exprime la formule (2). (Voir aussi la figure 1, courbe 3, pour les signaux vocaux et la figure 2, courbe 2, pour la représentation de l'expression (2)).

Afin que les pointes élevées du signal vocal puissent être prises en considération, définissons la densité de probabilité pour le signal suivant:

$$p(x) = \frac{\sqrt{30}}{S_0} \exp\left(-\sqrt{\left|\frac{x}{S_0}\right| \cdot \sqrt{120}}\right) \quad (3)$$

Ici aussi  $S_0$  représente la valeur efficace.

La figure 2 montre la répartition en amplitude ( $\int p(x) dx$ ) des trois signaux. Si l'on compare les courbes mesurées pour les signaux vocaux dans la voie téléphonique et dans le groupe primaire (fig. 1) avec la courbe  $\exp(-\sqrt{|x|})$  respectivement  $\exp(-x)$  de la figure 2, on constate que l'approximation obtenue est utilisable. Pour simplifier, on désignera ci-après les trois signaux définis dans (1), (2) et (3) par bruits  $\exp(-x^2)$ ,  $\exp(-x)$  et  $\exp(-\sqrt{|x|})$ .

### b) Bruit d'intermodulation

Le bruit d'intermodulation qui apparaît lors de la transmission sur quadripôles à courbe caractéristique non linéaire dépend grandement de la caractéristique des signaux. Pour une fonction non linéaire

$$y = ax + bx^2 + cx^3 \quad (4)$$

la puissance moyenne de distorsion du deuxième ordre sera  $T_2 = \overline{(bx^2)^2}$  et celle du troisième ordre  $T_3 = \overline{(cx^3)^2}$ . Si le signal est donné par sa densité de probabilité  $p(x)$ , on aura alors

$$T_2 = b^2 \int_{-\infty}^{\infty} x^4 p(x) dx$$

$$T_3 = c^2 \int_{-\infty}^{\infty} x^6 p(x) dx \quad (5)$$

La puissance du bruit de distorsion a été définie pour des signaux sinusoïdaux et pour les différents signaux de bruit; les résultats sont reportés au tableau 1. La valeur efficace de tous les signaux est égale et les coefficients  $b$  et  $c$  de la courbe caractéristique non linéaire sont choisis de telle sorte que la puissance de distorsion tende vers l'unité (0 dB) pour les signaux sinusoïdaux.

En fixant la charge conventionnelle pour les systèmes à courants porteurs, le CCITT a tenu compte des conditions de bruit d'intermodulation à attendre pour la charge réelle; pour les systèmes à nombre de voies  $N \leq 240$ , il a admis le niveau du signal (bruit  $\exp(-x^2)$ ) à employer pour la mesure de telle manière que des puissances de distorsion moyen-

## b) Intermodulationsgeräusch

Das Intermodulationsgeräusch, das bei der Übertragung über Vierpole mit nichtlinearer Kennlinie entsteht, hängt stark von der Signalcharakteristik ab. Bei einer nichtlinearen Funktion

$$y = ax + bx^2 + cx^3 \quad (4)$$

wird die mittlere Verzerrungsleistung zweiter Ordnung  $T_2 = (bx^2)^2$ , und jene dritter Ordnung  $T_3 = (cx^3)^2$ . Ist das Signal durch seine Wahrscheinlichkeitsdichte  $p(x)$  gegeben, dann wird

$$T_2 = b^2 \int_{-\infty}^{\infty} x^4 p(x) dx \quad (5)$$

$$T_3 = c^2 \int_{-\infty}^{\infty} x^6 p(x) dx$$

Die Verzerrungsgeräuschleistung wurde für Sinussignale und für die verschiedenen Rauschsignale bestimmt; die Resultate sind in *Tabelle I* eingetragen. Der Effektivwert aller Signale ist gleich gross und die Koeffizienten  $b$  und  $c$  der nichtlinearen Kennlinie derart gewählt, dass die Verzerrungsleistung bei Sinussignalen zu eins (0 dB) wird.

Tabelle I

Signaltyp	Ueberschreitungs-wahrscheinlichkeit des Effektivwertes	Verzerrungsleistung	
		2. Ordnung	3. Ordnung
Sinus	50%	0 dB	0 dB
exp (-x <sup>2</sup> )	31,74%	7,8 dB	17,8 dB
exp (-x)	24,3%	10,8 dB	25,5 dB
exp (-√x)	15,8%	17 dB	41,6 dB

Sprach-simulierendes Rauschen\*

~ 25%      13 dB      35 dB

\* Siehe Abschnitt 3

Tableau I

Type de signal	Probabilité de dépassement de la valeur efficace	Puissance de distorsion	
		2e ordre	3e ordre
Sinus	50%	0 dB	0 dB
exp (-x <sup>2</sup> )	31,74%	7,8 dB	17,8 dB
exp (-x)	24,3%	10,8 dB	25,5 dB
exp (-√x)	15,8%	17 dB	41,6 dB
Bruit simulat les signaux vocaux*	~ 25%	13 dB	35 dB

\* Voir paragraphe 3

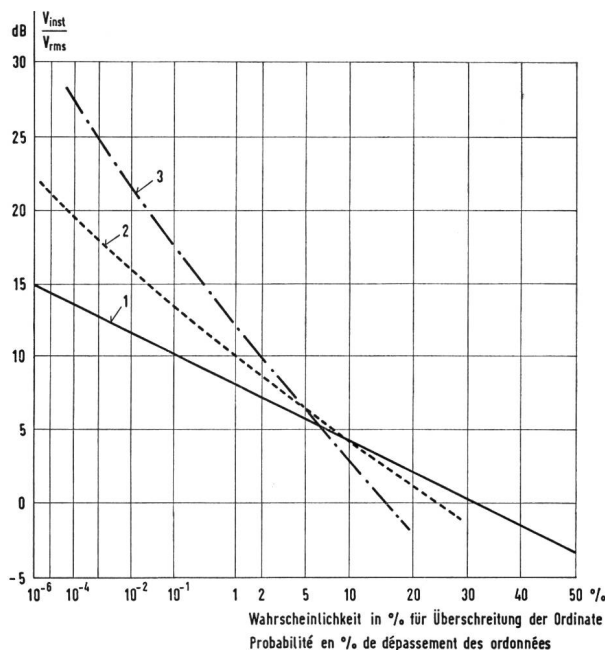


Fig. 2

Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P(x)$   
Momentanwert/Effektivwert  $V_{inst}/V_{rms}$

- ① Weisses Rauschen:  $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx$   
 $\sigma =$  Effektivwert
- ②  $e^{-x}$ -Rauschen:  $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2}S_0} \int \exp\left(-\left|\frac{x}{S_0}\right|\sqrt{2}\right) dx$   
 $S_0 =$  Effektivwert
- ③  $e^{-\sqrt{x}}$ -Rauschen:  $P(x) = \frac{\sqrt{30}}{S_0} \int \exp\left(-\sqrt{\left|\frac{x}{S_0}\right|}\sqrt{120}\right) dx$   
 $S_0 =$  Effektivwert

Probabilité de répartition  $P(x)$

Valeur instantanée/Valeur efficace  $V_{inst}/V_{eff}$ .

- ① Bruit blanc:  $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx$   
 $\sigma =$  Valeur efficace
- ② Bruit  $e^{-x}$ :  $P(x) = \frac{1}{\sqrt{2}S_0} \int \exp\left(-\left|\frac{x}{S_0}\right|\sqrt{2}\right) dx$   
 $S_0 =$  Valeur efficace
- ③ Bruit  $e^{-\sqrt{x}}$ :  $P(x) = \frac{\sqrt{30}}{S_0} \int \exp\left(-\sqrt{\left|\frac{x}{S_0}\right|}\sqrt{120}\right) dx$   
 $S_0 =$  Valeur efficace  
 $V_{rms} = V_{eff}$

nes d'égale valeur doivent apparaître lors de la mesure et dans l'exploitation.

Pour des nombres de voies  $N \geq 240$ , le signal total a approximativement une caractéristique d'amplitude gaussienne, si bien que le signal de mesure peut correspondre à la charge moyenne réelle.

Pour les mesures sur une voie téléphonique individuelle, le CCITT a défini [4] le signal téléphonique conventionnel

Bei der Festlegung der konventionellen Belastung für Trägersysteme hat das CCITT die bei der wirklichen Belastung zu erwartenden Intermodulationsgeräuschverhältnisse berücksichtigt und für Systeme mit Kanalzahlen  $N \leq 240$  den Pegel des zur Messung zu verwendenden Signales ( $\exp(-x^2)$ -Rauschen) derart festgesetzt, dass bei der Messung und im Betrieb gleich grosse mittlere Verzerrungsgeräuschleistungen auftreten sollen. Für Kanalzahlen  $N \geq 240$  weist das Summensignal angenähert gaussische Amplitudencharakteristik auf, so dass das Messsignal der mittleren wirklichen Belastung entsprechen kann.

Für Messungen auf einem einzelnen Telefonkanal wurde vom CCITT das sogenannte konventionelle Telefonsignal definiert [4]. Dieses wird aus weissem Rauschen mit  $\exp(-x^2)$ -Charakter erzeugt; das Frequenzspektrum wird in einem sogenannten Sprachfilter derart verformt, dass die Leistungsdichte in Abhängigkeit der Frequenz jenem eines mittleren Telefonsignales entspricht. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Amplituden entspricht immer noch angenähert der Gaussverteilung.

### c) Begrenzungsgeräusch

Neben dem Intermodulationsgeräusch, das durch die Nichtlinearität im quasi linearen Bereich der Übertragungskennlinie entsteht, ist aber auch jenes Geräusch von Bedeutung, das durch Begrenzung der Signale entsteht.

Begrenzungskennlinien können «weichen» Charakter haben, das heisst sie weisen einen allmählichen Übergang vom linearen in den begrenzenden Bereich auf. Diese Art kann durch eine analytische Funktion oder durch eine Potenzreihe dargestellt werden. In einer Arbeit von J. S. Lee [5] wurde das Geräusch berechnet, das durch eine Begrenzungskennlinie, die durch  $y = \pi \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}a}\right)$  gegeben ist, entsteht, wenn als Signal  $\exp(-x^2)$ -Rauschen betrachtet wird (erf. ist die gaussische Fehlerfunktion). Man kann zeigen, dass in diesem Fall das auftretende Geräusch vorwiegend durch Intermodulation 3. Ordnung entsteht.

Eine «harte» Begrenzungscharakteristik liegt dann vor, wenn die Übertragungskennlinie einen Knick aufweist; siehe *Figur 3*. Diese Charakteristik tritt in dieser ausgeprägten Form in der Praxis kaum auf; sie kann jedoch als Grenzfall betrachtet werden.

Man kann das entstehende Geräusch berechnen, indem man die durch Begrenzung unterdrückten Signalteile als gegenphasig zugefügte Signalelemente betrachtet, die für  $x > a$  eine Kompensation des Nutzsignales bewirken. Für  $x < a$  verschwinden die zusätzlichen Signalelemente. Die Geräuschleistung entspricht somit dem für  $x > a$  vorhandenen Signal und beträgt

$$2 \int_a^{\infty} (x-a)^2 p(x) dx \quad (6)$$

qui est produit à partir du bruit blanc à caractère  $\exp(-x^2)$ ; le spectre des fréquences est déformé dans un filtre dit vocal de manière que la densité de puissance en fonction de la fréquence corresponde à celui d'un signal téléphonique moyen. La probabilité de répartition des amplitudes concorde encore approximativement avec la répartition gaussienne.

### c) Bruit de limitation

Outre le bruit d'intermodulation qui est provoqué par la non-linéarité de la caractéristique de transmission dans la plage quasi linéaire, le bruit dû à la limitation des signaux a aussi son importance.

Les courbes caractéristiques de limitation peuvent être à pente douce, en ce sens qu'elles passent progressivement de la zone linéaire à la zone de limitation, ce qui peut se représenter par une fonction analytique ou une série exponentielle. Dans une étude, J. S. Lee [5] a calculé le bruit qu'engendre une courbe caractéristique de limitation donnée par  $y = \pi \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}a}\right)$ , lorsque le bruit  $\exp(-x^2)$  est considéré comme signal (erf. est la fonction d'erreur gaussienne). On peut démontrer que le bruit apparaissant dans ce cas est dû avant tout à l'intermodulation du troisième ordre.

La caractéristique de limitation est à front raide lorsque la courbe caractéristique de transmission fait un coude (voir *fig. 3*). Mais elle ne se présente pour ainsi dire pas sous cette forme aussi prononcée dans la pratique et peut donc être considérée comme cas limite.

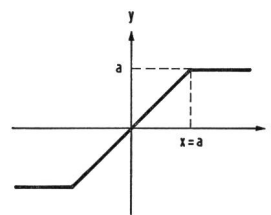


Fig. 3

Idealisierte Begrenzerkennlinie (scharfe Begrenzung)

Courbe caractéristique idéalisée des limiteurs (limitation nette)

On peut calculer le bruit engendré en considérant les parties du signal supprimées par la limitation comme des éléments de signal ajoutés en opposition de phase, qui compensent le signal utile pour  $x > a$ . Pour  $x < a$ , les éléments de signal additionnels disparaissent; il s'ensuit que la puissance de bruit correspond au signal existant pour  $x > a$  et s'élève à

$$2 \int_a^{\infty} (x-a)^2 p(x) dx \quad (6)$$

Les bruits de limitation ont été calculés pour les trois sortes de signaux de bruit et pour les signaux sinusoïdaux (voir aussi [2]). Les résultats sont reproduits à la *figure 4* comme rapport signal/bruit à la sortie du limiteur en fonction du rapport valeur efficace du signal à l'entrée/valeur de

Für die drei Arten von Rauschsignalen und für Sinus-signale wurden die Begrenzungsgeräusche berechnet (siehe auch [2]). Die Resultate sind in *Figur 4* als Signal-Geräuschverhältnis am Begrenzungsausgang in Funktion des Verhältnisses Effektivwert des Signales am Eingang / Begrenzungswert  $a$  im Massstab  $20 \log \left( \frac{x_{rms}}{a} \right)$  aufgezeichnet.

Eine zweite Abszissenskala zeigt das Verhältnis  $\left( \frac{x_{rms}}{a_{rms \text{ sinus}}} \right)$  und stellt den Effektivwert des Signales im Vergleich zum Effektivwert jenes Sinussignals dar, das in seinem Scheitel die Begrenzungsschwelle gerade erreicht. (Diese Angabe der Begrenzung entspricht der Definition der Belastungskapazität, wie sie vom CCITT in Empfehlung G 223 des Weissbuches, Band III, enthalten ist.)

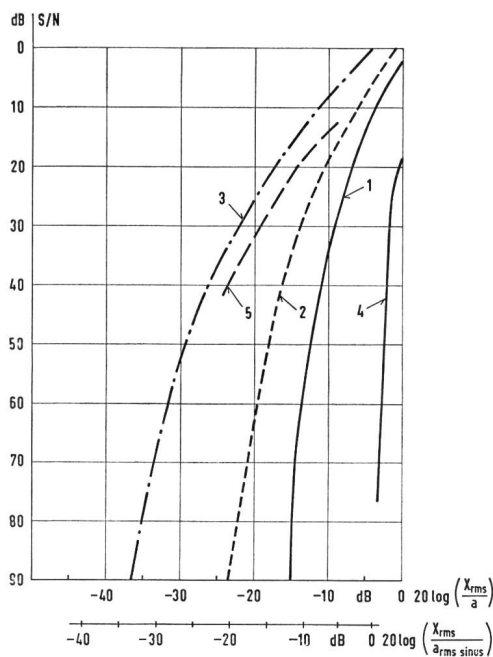


Fig. 4  
Signal/Geräusch-Verhältnis  $S/N$  am Begrenzungsausgang für verschiedene Signalarten in Abhängigkeit des Signalpegels (Verhältnis Effektivwert  $x_{rms}$  zu Begrenzungsamplitude  $a$  gemäss Fig. 3).

- ① Weisses Rauschen
- ②  $e^{-x}$  Rauschen
- ③  $e^{-\sqrt{x}}$  Rauschen
- ④ Sinus
- ⑤ Signal des sprachsimulierenden Generators

Rapport signal/bruit  $S/N$  à la sortie du limiteur pour différents genres de signaux en fonction du niveau du signal (rapport de la valeur efficace  $x_{eff.}$  à l'amplitude de limitation  $a$  selon la figure 3)

- ① Bruit blanc
- ② Bruit  $e^{-x}$
- ③ Bruit  $e^{-\sqrt{x}}$
- ④ Sinus
- ⑤ Signal du générateur simulant les courants vocaux

$$x_{rms} = x_{eff}$$

$$a_{rms} = a_{eff}$$

limitation  $a$ , à l'échelle  $20 \log \left( \frac{x_{eff.}}{a} \right)$ .

Une deuxième échelle d'abscisses montre le rapport  $\left( \frac{x_{eff.}}{\text{sinus } a_{eff.}} \right)$  et représente la valeur efficace du signal par rapport à celle du signal sinusoïdal dont la valeur de crête atteint le seuil de limitation. (Cette définition de la limitation correspond à celle de la capacité de charge que donne le CCITT dans son avis G. 223 du Livre blanc, tome III.)

Les courbes font ressortir que le bruit, engendré par limitation, est nettement plus élevé pour les signaux  $\exp(-x)$  et plus spécialement  $\exp(-\sqrt{x})$  que pour les signaux de bruit à répartition d'amplitude gaussienne de même valeur efficace.

Diverses considérations et calculs nous ont conduits à reconnaître la nécessité d'avoir un générateur de bruit simulant les courants vocaux, tel que le décrit le paragraphe suivant.

### 3. Générateur de bruit simulant les courants vocaux

Un signal à répartition d'amplitude gaussienne peut être déformé par l'entremise d'un réseau non linéaire dans une mesure telle que son amplitude ait des propriétés statistiques analogues à celles que possèdent les signaux vocaux. Cette méthode a été appliquée au générateur de bruit à basse fréquence simulant les courants vocaux, dont la description suit.

La *figure 5* représente le schéma de principe du générateur, constitué par une source de bruit suivie d'un préamplificateur, un réseau non linéaire, un filtre vocal selon le CCITT, qui peut être employé suivant les besoins, et un amplificateur de sortie.

Pour réduire les influences de la température et du vieillissement sur la diode Zener, utilisée comme source de bruit, on a doté d'une régulation de niveau le préamplificateur qui est dimensionné de manière à émettre une puissance de bruit d'un milliwatt sous une impédance de 600 ohms, dans la bande de fréquences de 300 à 3400 Hz. On a ainsi l'assurance que le réseau non linéaire subséquent est alimenté par un signal constant.

Le réseau non linéaire a pour but de créer, à partir du bruit à répartition  $\exp(-x^2)$ , un signal qui possède autant

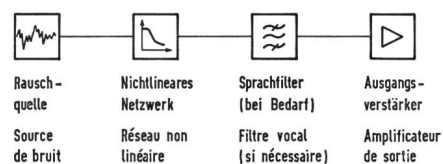


Fig. 5

Blockschema des sprachsimulierenden Generators

Schéma de principe du générateur simulant les courants vocaux.

Aus den Kurven ist ersichtlich, dass das durch Begrenzung entstehende Geräusch, bei  $\exp(-x)$ - und besonders bei  $\exp(-\sqrt{x})$ -Signalen, bei gleichem Effektivwert bedeutend höher ist als bei Rauschsignalen mit gaußscher Amplitudenverteilung.

Die Überlegungen und Berechnungen lassen ein Bedürfnis nach einem sprachsimulierenden Rauschgenerator erkennen. Ein solcher ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

### 3. Generator für sprachsimulierendes Rauschen

Ein Signal mit gaußscher Amplitudenverteilung kann mit Hilfe eines nichtlinearen Netzwerkes derart verformt werden, dass seine Amplitude ähnliche statistische Eigenschaften aufweist, wie sie Sprachsignale besitzen. Dieses Vorgehen wurde beim hier beschriebenen Niederfrequenz-Rauschgenerator mit sprachsimulierendem Rauschen angewendet.

In *Figur 5* ist das Blockschema des Generators dargestellt. Dieser setzt sich zusammen aus der Rauschquelle mit nachfolgendem Verstärker, dem nichtlinearen Netzwerk, dem Sprachfilter nach CCITT, das nach Bedarf verwendet werden kann, und einem Ausgangsverstärker.

Als Rauschquelle dient eine Zenerdiode. Um Temperatur- und Alterungseinflüsse der Zenerdiode zu reduzieren, wurde der nachfolgende Verstärker mit einer Pegelregelung versehen. Diese ist derart ausgelegt, dass im Frequenzband 300...3400 Hz ein Milliwatt Rauschleistung an eine Impedanz von 600  $\Omega$  abgegeben wird. Dadurch wird gewährleistet, dass das nichtlineare Netzwerk mit einem konstanten Signal angespiesen wird.

Das nichtlineare Netzwerk hat die Aufgabe, aus Rauschen mit  $\exp(-x^2)$ -Verteilung ein Signal zu erzeugen, das möglichst die statistischen Eigenschaften der mittleren Sprachsignale aufweist. Die Gewinnung des gewünschten Signales sei anhand von *Figur 6a* schematisch erläutert und dessen Form durch die Kurve 2 dargestellt. Die Kurve 1 stellt das am Eingang des Netzwerkes vorhandene Rauschsignal mit Gaußverteilung dar. Werden die Momentanwerte einer pegelabhängigen Dämpfung unterworfen, wie dies durch Kurve 3 angedeutet wird, dann lässt sich das erwünschte Signal angenähert erzeugen.

Das nichtlineare Netzwerk besteht im Prinzip aus einer Dämpfung in  $\pi$ -Schaltung, deren Längspfad mit zwei gegenpolig geschalteten Zenerdioden überbrückt ist. Für kleine Signalamplituden kann der Einfluss der Zenerdioden vernachlässigt werden; das Netzwerk arbeitet als Dämpfung (etwa 34 dB). Für grosse Signalamplituden werden die Zenerdioden leitend und die Dämpfung wird klein (etwa 3 dB). Die mittleren Signalwerte fallen in den Übergangsbereich zwischen hoher und niedriger Dämpfung. Um positive und negative Signalwerte auf gleiche Weise zu berücksichtigen

que possible les propriétés statistiques des signaux vocaux moyens. Le principe de la production du signal est expliqué schématiquement à la *figure 6a*. Le signal désiré est représenté par la courbe 2, tandis que la courbe 1 donne le signal de bruit à répartition gaussienne appliqué à l'entrée du réseau. En appliquant les valeurs instantanées à un circuit dont l'affaiblissement est fonction du niveau, comme l'esquisse la courbe 3, le signal désiré peut être alors obtenu approximativement. En principe, le réseau non linéaire se compose d'un atténuateur en  $\pi$ , dont l'élément longitudinal est ponté par deux diodes Zener montées en opposition. Pour de petites amplitudes du signal, il est possible de négliger l'influence des diodes Zener, l'affaiblissement du réseau est alors d'environ 34 dB. Pour de grandes amplitudes du signal, les diodes Zener deviennent conductrices et l'atténuation diminue à environ 3 dB. Les valeurs moyennes du signal tombent dans la zone intermédiaire de la caractéristique du réseau et leur atténuation est fonction du niveau. Pour tenir compte de façon identique des valeurs positives et négatives, on a connecté deux diodes Zener en opposition (*fig 6b*).

On peut à volonté brancher un filtre vocal, tel qu'il est défini dans [4], à la suite du réseau non linéaire. Lorsque le filtre vocal n'est pas en circuit, le signal est acheminé à travers un atténuateur dont l'affaiblissement est choisi de manière que la puissance de sortie soit toujours la même.

Une puissance de 1 mW (0 dBm) est transmise à une résistance de 600  $\Omega$  raccordée extérieurement par l'amplifi-

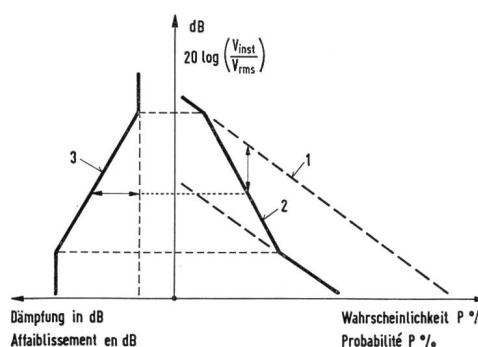


Fig. 6a

Prinzip der Erzeugung des sprachsimulierenden Rauschsignales

- ① Weisses Rauschen mit Normalverteilung am Eingang des nichtlinearen Netzwerkes
- ② Sprachsimulierendes Rauschsignal
- ③ Pegelabhängiger Dämpfungsverlauf des nichtlinearen Netzwerkes

Principe de la production du signal de bruit simulant les courants vocaux.

- ① Bruit blanc à répartition normale à l'entrée du réseau non linéaire.
- ② Signal de bruit simulant les courants vocaux.
- ③ Courbe d'affaiblissement du réseau non linéaire en fonction du niveau.

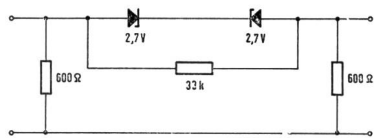


Fig. 6b

Nichtlineares Netzwerk zur Erzeugung der sprachsimulierten Amplitudenverteilung

Réseau non linéaire destiné à fournir la répartition d'amplitude des courants vocaux simulés

sichtigen, werden zwei gegenpolig geschaltete Zenerdioden verwendet (Fig. 6b).

Dem nichtlinearen Netzwerk kann wahlweise ein Sprachfilter, wie es in [4] definiert ist, nachgeschaltet werden. Ist das Sprachfilter nicht eingeschaltet, wird das Signal über eine Dämpfung geleitet, deren Wert derart gewählt ist, dass die Ausgangsleistung immer dieselbe ist.

Der nachfolgende Ausgangsverstärker gibt an einen extern angeschlossenen Widerstand von 600 Ω eine Leistung von 1 mW (0 dBm) ab. Die dynamischen Eigenschaften des Verstärkers sind derart, dass ein Sinussignal von + 25 dBm unverzerrt an die Last abgegeben werden kann. Damit besteht die Gewähr, dass die hohen Spitzen des sprachsimulierenden Rauschens keiner Begrenzung ausgesetzt sind.

In Figur 7 sind die Amplitudenverteilungskurven der vier möglichen Signalarten dargestellt; aus Figur 8 gehen die Frequenzspektren der Signale hervor.

Bei einer Temperaturänderung von ± 15 °C bezüglich 23 °C beträgt die Pegeländerung am Generatorausgang

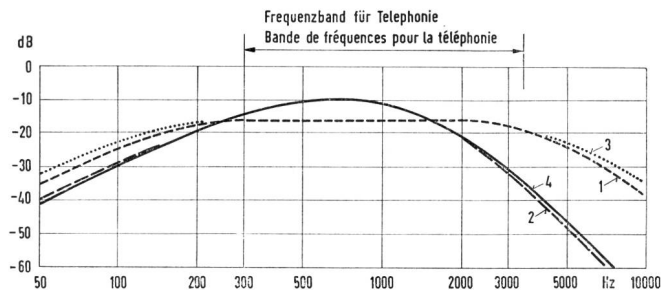


Fig. 8

Frequenzspektren der Signale am Ausgang des Generators

- ① exp (-x<sup>2</sup>) Rauschen ohne Sprachfilter
- ② exp (-x<sup>2</sup>) Rauschen mit Sprachfilter
- ③ Sprachsimulierendes Rauschen ohne Sprachfilter
- ④ Sprachsimulierendes Rauschen mit Sprachfilter

Spektrum der Frequenzen der Signale an der Ausgang des Generators

- ① Bruit exp (-x<sup>2</sup>) sans filtre vocal
- ② Bruit exp (-x<sup>2</sup>) avec filtre vocal
- ③ Bruit simulant les courants vocaux sans filtre vocal
- ④ Bruit simulant les courants vocaux avec filtre vocal

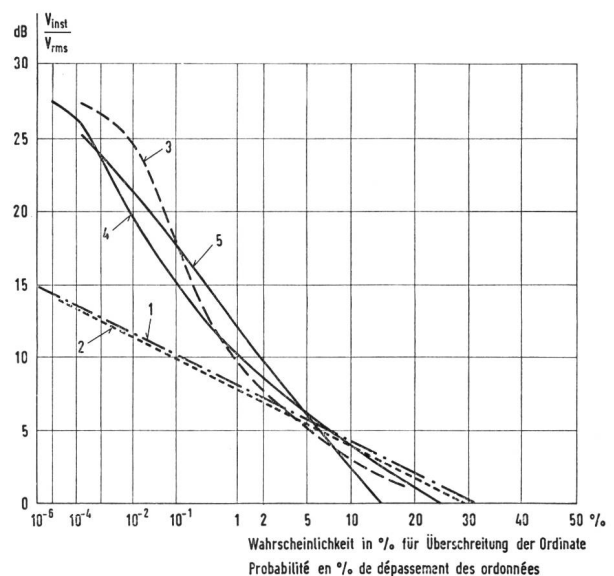


Fig. 7

Wahrscheinlichkeitsverteilung der Amplitude  $V_{inst}/V_{rms}$  der Signale des Generators

- ① Rauschen mit Normalverteilung mit Sprachfilter
- ② wie ①, aber ohne Sprachfilter
- ③ Sprachsimulierendes Rauschen ohne Sprachfilter
- ④ wie ③ aber mit Sprachfilter
- ⑤ Sprache im Telefonkanal (zum Vergleich)

Probabilité de répartition des amplitudes  $V_{inst}/V_{eff}$ , des signaux du générateur

- ① Bruit à répartition normale avec filtre vocal
- ② comme ① mais sans filtre vocal
- ③ Bruit simulant les courants vocaux sans filtre vocal
- ④ comme ③ mais avec filtre vocal
- ⑤ Parole dans la voie téléphonique (à titre de comparaison)

$$X_{rms} = X_{eff}$$

$$V_{rms} = V_{eff}$$

ateur de sortie. Les propriétés dynamiques de celui-ci sont telles qu'un signal sinusoïdal de + 25 dBm peut être appliqué à la résistance de charge sans distorsion. On a donc toute garantie que les pointes élevées du bruit simulant les courants vocaux ne sont soumises à aucune limitation.

Tandis que les courbes de répartition d'amplitude des quatre genres de signaux possibles sont reproduites à la figure 7, la figure 8 donne les spectres de fréquences des signaux.

Les variations de niveau à la sortie du générateur restent inférieures à ± 0,5 dB pour des variations de température de ± 15 °C par rapport à 23 °C. Dans cette plage de température, les courbes de répartition des amplitudes se déplacent légèrement dans le sens horizontal.

En comparant les courbes 3 et 4 de la figure 7 à celles de la figure 2, on constate que le signal obtenu a une caractéristique se situant entre les courbes exp (-x) et exp (-√x). Le bruit de limitation du bruit simulant les courants vocaux a été défini théoriquement et la courbe correspondante est

$< \pm 0,5$  dB; die Amplitudenverteilungskurven erfahren eine geringfügige horizontale Parallelverschiebung.

Ein Vergleich der Kurven 3 und 4 in Figur 7 mit den Kurven in Figur 2 lässt erkennen, dass das erzielte Signal eine Charakteristik aufweist, die zwischen der  $\exp(-x)$ - und der  $\exp(-\sqrt{x})$ -Kurve liegt. Das Begrenzungsgeräusch des sprachsimulierenden Geräusches wurde theoretisch bestimmt und die entsprechende Kurve ist in Figur 4 eingetragen (Kurve 5). Die Verzerrungsleistung 2. und 3. Ordnung sind aus der letzten Zeile in Tabelle I ersichtlich.

Die Figuren 9 und 10 zeigen einige Oszillogramme der möglichen Signale sowie eine Ansicht des Generators.

reproduite à la figure 4 (courbe 5). La puissance de distortion des deuxième et troisième ordres est donnée à la dernière ligne du tableau I.

Les figures 9 et 10 présentent quelques oscillogrammes des signaux possibles ainsi qu'une vue du générateur.

#### 4. Premiers résultats des mesures

Pour comparer l'influence de la charge des courants vocaux simulés aux résultats obtenus lors de l'emploi du bruit gaussien, on a procédé à une série de mesures sur quelques équipements de modulation de voie à courants porteurs de groupe primaire et sur un système MIC.

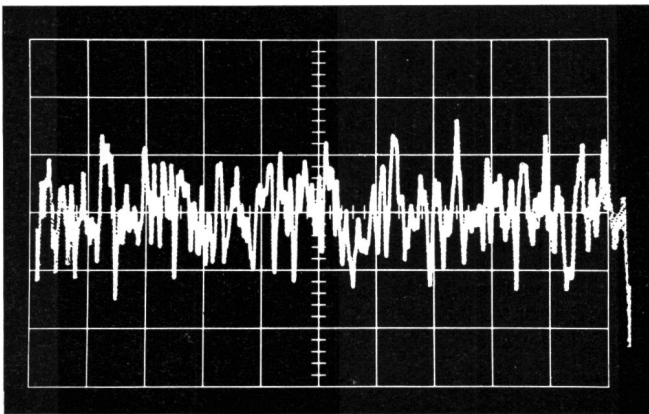


Fig. 9a

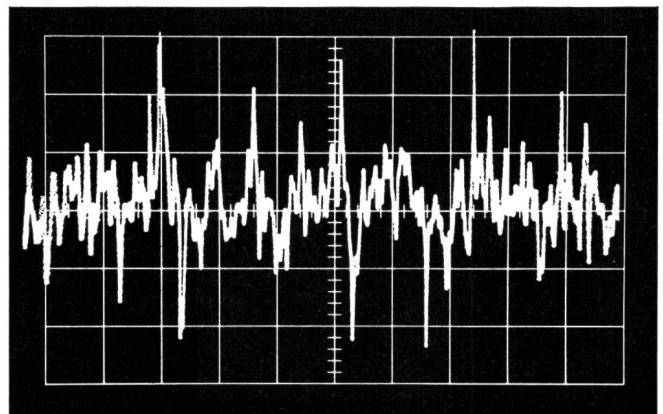


Fig. 9c

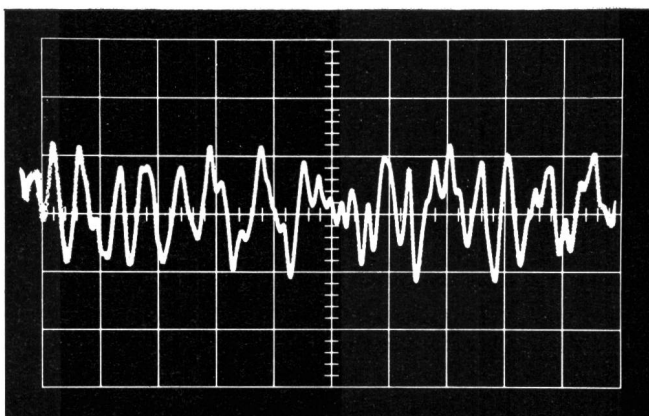


Fig. 9b

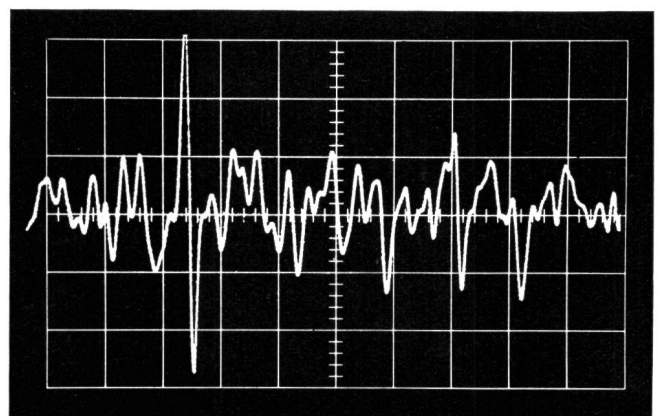


Fig. 9d

Fig. 9

Oszillogramme der Signale des Generators  
a)  $\exp(-x^2)$  Rauschen ohne Sprachfilter  
b)  $\exp(-x^2)$  Rauschen mit Sprachfilter  
c) Sprachsimulierendes Rauschen ohne Sprachfilter  
d) Sprachsimulierendes Rauschen mit Sprachfilter

Horizontal: 2 ms/Skalenteil  
Vertikal: 2,5 V/Skalenteil

Fig. 9

Oscillogrammes des signaux du générateur  
a) Bruit  $\exp(-x^2)$  sans filtre vocal  
b) Bruit  $\exp(-x^2)$  avec filtre vocal  
c) Bruit simulant les courants vocaux sans filtre vocal  
d) Bruit simulant les courants vocaux avec filtre vocal

Horizontal: 2 ms/division d'échelle  
Vertikal: 2,5 V/division d'échelle

#### 4. Erste Messergebnisse

An einigen auf der Primärgruppenseite geschloffenen Trägerfrequenz-Kanalumsetzern und an einem PCM-System wurden eine Reihe von Messungen durchgeführt, um die Auswirkung der simulierten Sprachbelastung mit den Ergebnissen bei Verwendung von gaußschem Rauschen anhand von Messresultaten zu vergleichen.

Die *Figur 11* lässt den Unterschied, herrührend von den beiden Signalarten, erkennen. Um den Einfluss deutlich hervortreten zu lassen, wurden die Begrenzerdioden am Kanaleingang für diese Messung entfernt (Kurven 1 und 2).

Das Geräusch oberhalb einer Belastung von  $-8$  dBm0/Kanal dürfte vorwiegend durch Intermodulation im Schlaufenverstärker sowie in den allen Kanälen gemeinsamen

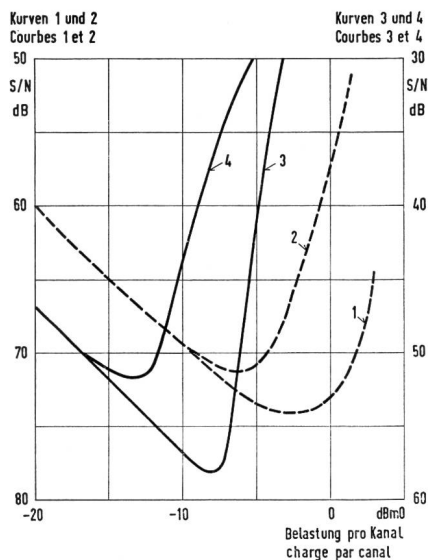


Fig. 11

Signal-Geräuschverhältnis  $S/N$  im Telefonkanal an Kanalumsetzern bei Belastung von 10 Kanälen mit Rauschsignalen

- Kurven ① und ③: Rauschen mit Normalverteilung
- Kurven ② und ④: Sprachsimulierendes Rauschen
- Kurven ① und ②: Ohne Begrenzerdioden am Eingang der Kanäle, Schleufe auf Primärgruppenseite normal
- Kurven ③ und ④: Begrenzerdioden wieder eingefügt: Schleufe auf Primärgruppenseite mittels Verstärker, der bei  $+15$  dBm0 begrenzt

Rapport signal/bruit  $S/N$  dans la voie téléphonique aux modulateurs de voies lorsque 10 voies sont chargées par des signaux de bruit

- Courbes ① et ③: Bruit à répartition normale
- Courbes ② et ④: Bruit simulant les courants vocaux
- Courbes ① et ②: Sans diodes limitatives à l'entrée des voies, boucle normale sur le côté du groupe primaire
- Courbes ③ et ④: Diodes limitatives à nouveau intercalées; boucle sur le côté du groupe primaire au moyen d'un amplificateur limitant à  $+15$  dBm0.

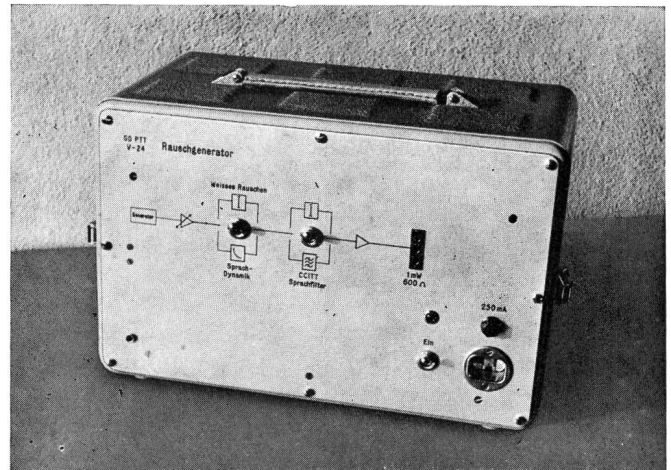


Fig. 10

Ansicht des Generators für sprachsimulierende Rauschsignale

Vue du générateur des signaux de bruit simulant les courants vocaux

La *figure 11* permet de découvrir la différence provenant des deux genres de signaux. Pour faire ressortir plus nettement l'influence, on a supprimé, pour cette mesure, les diodes limitatives à l'entrée de la voie (courbes 1 et 2).

Le bruit au-dessus d'une charge de  $-8$  dBm0/voie serait principalement causé par intermodulation dans l'amplificateur de boucle ainsi que dans les parties d'installation communes à toutes les voies, étant donné qu'il existe une grande réserve de surmodulation. La quote-part de bruit dépendant de la charge est d'environ 19 dB plus élevée pour la courbe 2 que pour la courbe 1.

Pour les courbes 3 et 4 de la *figure 11*, on a inséré au point de jonction une limitation assez forte à  $+15$  dBm0. La différence entre le bruit simulant les courants vocaux et le bruit  $\exp(-x^2)$  est derechef clairement reconnaissable.

A la *figure 12* sont représentées les conditions qui s'appliquent à un équipement de modulation de voie non modifié et dans un système à courants porteurs à petit nombre de voies. Suivant le dimensionnement des circuits, l'influence des signaux de bruit simulant les courants vocaux est plus ou moins marquée.

Pour analyser le bruit de quantification d'une voie MIC, on a effectué quelques autres mesures dont un résultat est donné à la *figure 13*. On reconnaît ici très nettement l'inflexion d'une première courbe correspondant au bruit de limitation lors de l'emploi d'un signal de bruit simulant les courants vocaux.

Si la limitation fournit une contribution essentielle au bruit dans la voie téléphonique, l'emploi de signaux à répartition d'amplitude gaussienne ne suffit plus pour apprécier par la mesure la qualité des voies téléphoniques; les conditions de bruit se manifestant pour une charge analogue à

Anlageteilen verursacht werden, da eine grosse Übersteuerungsreserve vorhanden ist. Der belastungsabhängige Geräuschteil ist bei Kurve 2 um etwa 19 dB höher als bei Kurve 1.

Für die Kurven 3 und 4 in Figur 11 wurde an der Schlaufenstelle eine ziemlich scharfe Begrenzung bei +15 dBm<sub>0</sub> eingefügt. Der Unterschied zwischen sprachsimulierendem Rauschen und exp(-x<sup>2</sup>)-Rauschen ist wieder klar erkenntlich.

In Figur 12 sind die Verhältnisse, wie sie bei einer unmodifizierten Kanalumsetzerausrüstung und bei einem Trägersystem für kleine Kanalzahlen auftreten, dargestellt. Je nach Dimensionierung der Stromkreise ist der Einfluss der sprachsimulierenden Rauschsignale mehr oder weniger ausgeprägt.

Um das Quantisierungsgeräusch eines PCM-Kanals zu untersuchen, wurden einige weitere Messungen durchgeführt, von denen ein Resultat in Figur 13 dargestellt ist. Hier

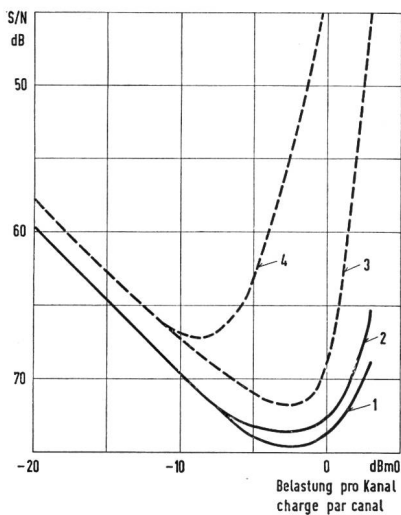


Fig. 12  
Signal-Geräuschverhältnis  $S/N$  im Telephonkanal an Kanalumsetzern bei Belastung mit Rauschsignalen

Kurven ① und ③: Rauschen mit Normalverteilung  
Kurven ② und ④: Sprachsimulierendes Rauschen  
Kurven ① und ②: Kanalumsetzer (12 Kanäle, wovon 10 belastet)  
Kurven ③ und ④: Trägersystem für kleine Kanalzahl (6 Kanäle, wovon 5 belastet)

Rapport signal/bruit  $S/N$  dans la voie téléphonique aux modulateurs de voies, pour une charge avec signaux de bruit

Courbes ① et ③: Bruit à répartition normale  
Courbes ② et ④: Bruit simulant les courants vocaux  
Courbes ① et ②: Modulateurs de voies (12 voies, dont 10 chargées)  
Courbes ③ et ④: Système à courants porteurs pour un petit nombre de voies (6 voies, dont 5 chargées)

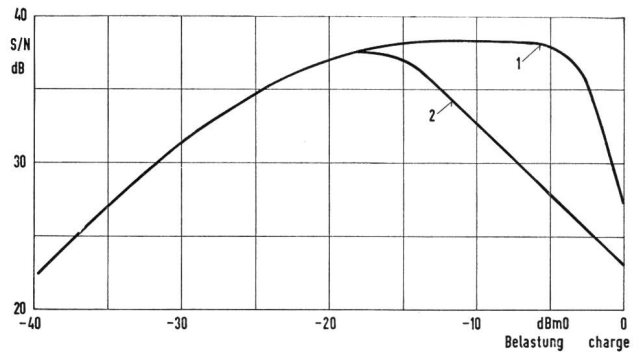


Fig. 13  
Signal-Quantisierungsgeräuschverhältnis  $S/N$  in einem PCM Kanal.  
①: Belastung mit Rauschen mit Normalverteilung  
②: Belastung mit sprachsimulierendem Rauschen

Rapport signal/bruit de quantification  $S/N$  dans une voie MIC  
①: Charge avec bruit à répartition normale  
②: Charge avec bruit simulant les courants vocaux

celle qui est utilisée dans l'exploitation ne peuvent plus être suffisamment appréciées, même lors de la mesure avec un niveau de signal élevé. Il est évident que de cette façon il est bien tenu compte du bruit d'intermodulation mais il n'en est pas de même pour le bruit de limitation. La figure 14 illustre bien ce phénomène. On y considère une voie téléphonique fictive qui possède une limitation, une non-linéarité du troisième ordre et un bruit de fond déterminé. En utilisant un signal de mesure à répartition normale de l'amplitude, on obtient une courbe de bruit 6 résultant des courbes 1, 2 et 4. Admettons que la non-linéarité et la limitation apparaissent au niveau du groupe primaire et que le signal ait la caractéristique exp(-x) (voir fig. 1, courbe 2). Ainsi, selon le tableau I, le bruit d'intermodulation du troisième ordre y est de 7,7 dB plus élevé que pour des signaux exp(-x<sup>2</sup>) (courbe 3); le bruit de limitation suit la courbe 5 qui correspond à la courbe 2 de la figure 4. Le comportement du bruit en résultant est représenté par la courbe 7 de la figure 14. Ces conditions peuvent être reproduites grâce à l'emploi du bruit simulant les courants vocaux dans les voies téléphoniques.

## 5. Discussion

Veut-on comparer les résultats des mesures avec ceux de la théorie, on se heurte à certaines difficultés. Les causes résident moins dans les méthodes de mesure que dans les hypothèses simplificatrices, sans lesquelles le calcul serait considérablement plus compliqué, sinon impossible. Une courbe caractéristique de limitation avec un coude, telle que la figure 3 la reproduit, correspond difficilement aux conditions effectives; elle peut toutefois être considérée comme cas limite. D'autre part, l'exposé mathématique présenté dans [5] de la courbe caractéristique de limitation

ist der frühe Einsatzpunkt des Begrenzungsgeräusches bei Verwendung von sprachsimulierendem Rauschsignal deutlich zu erkennen.

Wenn die Begrenzung einen wesentlichen Beitrag zum Geräusch im Telephonkanal beiträgt, genügt die Verwendung von Signalen mit gaußscher Amplitudenverteilung zur messtechnischen Beurteilung von Telephonkanälen nicht mehr; die bei betriebsmässiger Belastung auftretenden Geräuschverhältnisse können auch bei Verwendung mit erhöhtem Messsignalpegel nicht mehr ausreichend erfasst werden. Wohl kann dadurch das Intermodulationsgeräusch entsprechend berücksichtigt werden, aber das Begrenzungsgeräusch wird nicht genügend erfasst. Zur Illustration soll *Figur 14* dienen. Es wird ein fiktiver Telephonkanal betrachtet, der eine bestimmte Begrenzung, Nichtlinearität 3. Ordnung und Grundgeräusch aufweist. Bei Verwendung eines Messsignales mit Normalverteilung der Amplitude resultiert eine Geräuschkurve 6, die sich aus Kurven 1, 2 und 4 zusammensetzt. Es sei nun angenommen, dass die Nichtlinearität und die Begrenzung in der Primärgruppenlage auftreten, und das Signal dort  $\exp(-x)$  Charakter (siehe Fig. 1, Kurve 2) besitze. Somit ist gemäss Tabelle I das Intermodulationsgeräusch 3. Ordnung um 7,7 dB höher als für  $\exp(-x^2)$ -Signale (Kurve 3); das Begrenzungsgeräusch folgt der Kurve 5, die der Kurve 2 in *Figur 4* entspricht. Das resultierende Geräuschverhalten ist durch Kurve 7 in *Figur 14* dargestellt. Diese Verhältnisse können durch Verwendung von sprachsimulierendem Rauschen in den Telephonkanälen nachgebildet werden.

## 5. Diskussion

Will man die Messresultate mit den theoretisch hergeleiteten Resultaten vergleichen, so stösst man auf gewisse Schwierigkeiten. Die Ursachen liegen weniger bei den Messmethoden als bei den vereinfachenden Annahmen, ohne die die Berechnung wesentlich kompliziert, wenn nicht gar unmöglich wäre.

Eine Begrenzerkennlinie mit einem Knick, wie sie in *Figur 3* dargestellt ist, dürfte kaum den wirklichen Verhältnissen entsprechen; sie kann jedoch als Grenzfall betrachtet werden. Andererseits dürfte die in [5] verwendete mathematische Darstellung der Begrenzungskennlinie in bezug auf Intermodulationsgeräusch 3. Ordnung in vielen Fällen eher pessimistische Resultate ergeben. Wirkliche Begrenzungskennlinien werden irgendwo dazwischen liegen.

Gewisse Unklarheiten bestehen auch in der Definition der Übersteuerung oder Begrenzung: je nach der angewendeten Messmethode sind andere Werte des Begrenzungspegels zu erwarten. Das vom CCITT in [3] angegebene Kriterium setzt eine ziemlich scharfe Begrenzung voraus (Anstieg der

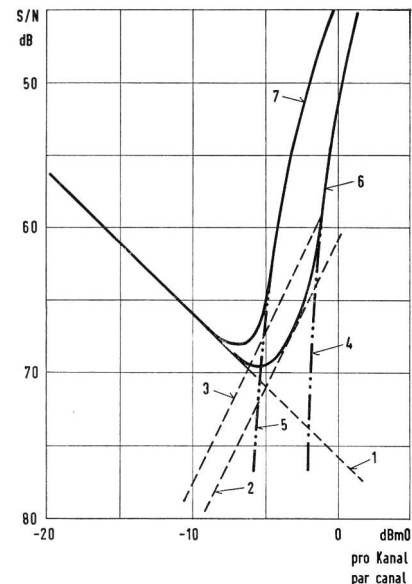


Fig. 14

Geräuschverhältnisse  $S/N$  in einem fiktiven Telephonkanal einer Primärgruppe

- ① Grundgeräusch
- ② Intermodulationsgeräusch 3. Ordnung bei Belastung mit  $\exp(-x^2)$ -Signal in 6 Kanälen
- ③ Intermodulationsgeräusch 3. Ordnung für  $\exp(-x)$ -Signal (sprachsimulierendes Rauschen in etwa 6 Telephonkanälen, gleiche Effektivwerte wie für Kurve 2)
- ④ Begrenzungsgeräusch für  $\exp(-x^2)$ -Signal
- ⑤ Begrenzungsgeräusch für  $\exp(-x)$ -Signal
- ⑥ Totalgeräusch für  $\exp(-x^2)$ -Signal
- ⑦ Totalgeräusch für  $\exp(-x)$ -Signal (entspricht ungefähr der Belastung von 6 Kanälen mit sprachsimulierendem Rauschen)

Conditions de bruit  $S/N$  dans une voie téléphonique fictive d'une groupe primaire

- ① Bruit de fond
- ② Bruit d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre pour une charge avec bruit  $\exp(-x^2)$  dans 6 voies
- ③ Bruit d'intermodulation du 3<sup>e</sup> ordre pour signal  $\exp(-x)$  (bruit simulant les courants vocaux dans 6 voies téléphoniques environ, même valeur efficace que pour courbe ②)
- ④ Bruit de limitation pour signal  $\exp(-x^2)$
- ⑤ Bruit de limitation pour signal  $\exp(-x)$
- ⑥ Bruit total pour signal  $\exp(-x^2)$
- ⑦ Bruit total pour signal  $\exp(-x)$  (correspond approximativement à la charge de 6 voies par un bruit simulant les courants vocaux)

par rapport au bruit d'intermodulation du troisième ordre donnerait des résultats plutôt pessimistes dans nombre de cas. Les courbes caractéristiques de limitation effectives se situent quelque part entre ces extrêmes.

Certaines inexactitudes subsistent également dans la définition de la surmodulation ou limitation; suivant la méthode de mesure appliquée, il y a lieu d'attendre d'autres valeurs du niveau de limitation. Le critère indiqué par le CCITT dans [3] suppose une limitation assez nette (accroissement du troisième harmonique d'un signal sinu-

3. Harmonischen eines Sinussignales). Bei einer weichen Begrenzung müsste eine andere Methode angewendet werden, weil hier kein ausgeprägter Anstieg der Harmonischen auftritt. Es fehlt somit zur Zeit ein in allen Fällen anwendbares Kriterium für die messtechnische Erfassung der Begrenzung. Die Berechnungen und Abschätzungen jenes Pegels im Telephonkanal, bei dem infolge der Begrenzung eine rasche Verschlechterung des Signal/Geräuschverhältnisses eintritt, sind somit immer mit einer Unsicherheit von einigen Dezibel behaftet. Mit dem sprachsimulierenden Rauschgenerator wurde eine Möglichkeit geschaffen, wirklichkeitsnahe Geräuschmessungen an Trägerfrequenz-Kanalumsetzern, an Trägerfrequenzsystemen für kleine Kanalzahlen sowie auf PCM-Systemen durchzuführen.

Die Tendenz der Erhöhung der Baudichte in Fernmelde-ausrüstungen bringt wärmetechnische Probleme mit sich. Um den Einfluss der Erwärmung niedrig zu halten, besteht ein Interesse, mit möglichst kleinen Verlustleistungen auszukommen. Dies kann sich dahin auswirken, dass die Reserven gegen Übersteuerung reduziert und auf die absolut notwendigen Werte beschränkt werden. Es ist somit notwendig, dass die unter solchen Umständen vorhandenen Geräuschverhältnisse einwandfrei und wirklichkeitsnahe erfasst werden können.

#### Bibliographie

- [1] *H. K. Pfyffer*. Geräusch und Geräuschmessungen auf Nachrichtenübertragungsanlagen. Techn. Mitt. PTT 44 (1966) Nr. 12, S. 396 ff.
- [2] *B. B. Jacobsen*. The Effect of Nonlinear Distortion in Multichannel Amplifiers. Electrical Communication, July 1940.
- [3] *CCITT*. Weissbuch Band III, Empfehlung G 223.

soïdal). Pour une limitation moins prononcée, il y aurait lieu d'appliquer une autre méthode, du fait qu'aucun accroissement marqué des harmoniques n'intervient dans ce cas. Il manque donc actuellement un critère applicable à tous les cas pour la mesure de la limitation. Les calculs et les estimations du niveau dans la voie téléphonique, pour lequel une détérioration rapide du rapport signal/bruit se produit du fait de la limitation, sont donc toujours entachés d'une inexactitude de quelques décibels. Grâce au générateur de bruit simulant les courants vocaux, il est possible de réaliser des mesures de bruit réalistes sur des modulateurs de voies à courants porteurs, des systèmes à courants porteurs pour de petits nombres de voies ainsi que sur des systèmes MIC.

La tendance d'augmenter la densité des équipements dans les systèmes de télécommunication soulève des problèmes thermotechniques. Pour maintenir faible l'influence de l'échauffement, on a tout intérêt à se satisfaire de puissances dissipées aussi petites que possible, ce qu'on peut obtenir en réduisant les réserves contre la surmodulation et en les limitant aux valeurs absolument indispensables. Il est donc nécessaire que les conditions de bruit régnant en pareils cas puissent être relevées de façon parfaite et réaliste.

- [3] *CCITT*. Livre blanc, tome III, Avis G. 223.
- [4] *CCITT*. Weissbuch Band III, Empfehlung G 227.
- [4] *CCITT*. Livre blanc, tome III, Avis G. 227.
- [5] *J. S. Lee*. Signal-to-Crosstalk Power Ratio in Smoothly Limited Multichannel FDM Signals. IEEE Trans. on Communication Technology Feb. 1968.