

Caracterizarea generală a parametrilor circuitelor telefonice mixte analog/digitale

În figura 1 se prezintă schema bloc generală a unei conexiuni telefonice într-o rețea telefonică digitală, schemă bloc în care se pot identifica parametrii care sunt caracteristici diferitelor părți componente ale acestei rețele [Pa1]. Se pot observa în această schemă canalul analogic care asigură de regulă legătura abonat - centrală locală și supercanalul digital care asigură legătură dintre cele două centrale locale considerate. Acest supercanal digital include transmisia informației digitale pe diferite medii fizice (cablu, fibră optică, radio), operațiile de comutație și operațiile de multiplexare.

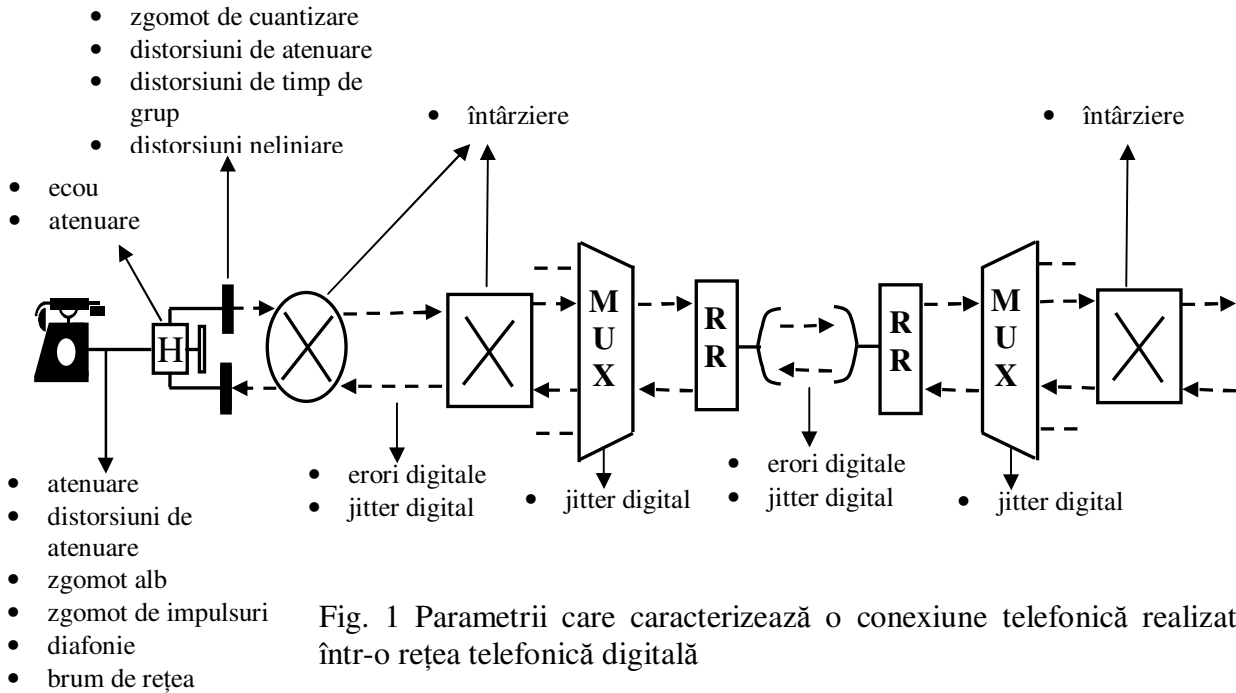


Fig. 1 Parametrii care caracterizează o conexiune telefonică realizată într-o rețea telefonică digitală

Din figura 1 rezultă că legătura analogică abonat – centrală este caracterizată de atenuare, distorsiuni de atenuare și de diferite zgomote (diafonia este considerată tot un zgomot independent de semnal), transformatorul hibrid este responsabil de fenomenul de ecou și mai introduce atenuări suplimentare, iar conversia analog/digitală și cea digital/analogică generează zgomot de cuantizare și distorsiuni de atenuare și de timp de propagare de grup, datorită filtrărilor antialiere și de reconstrucție a semnalului analogic. Sistemele de comutație digitale sunt responsabile în primul rând de întârzierile pe care le suferă semnalul transmis, sistemele de multiplexare digitale generează jitter digital, iar sistemele de transmisie generează erori digitale în fluxul de transmisie, întârzieri și jitter digital. Parametrii digitali specifici sistemelor de transmisie digitale sunt determinați de parametrii analogici ai circuitelor fizice pe care se realizează efectiv transmisia. În figurile 2 și 3 are loc o trecere în revistă a parametrilor principali ai canalelor digitale și ai celor analogice care se pot întâlni într-o rețea telefonică digitală.

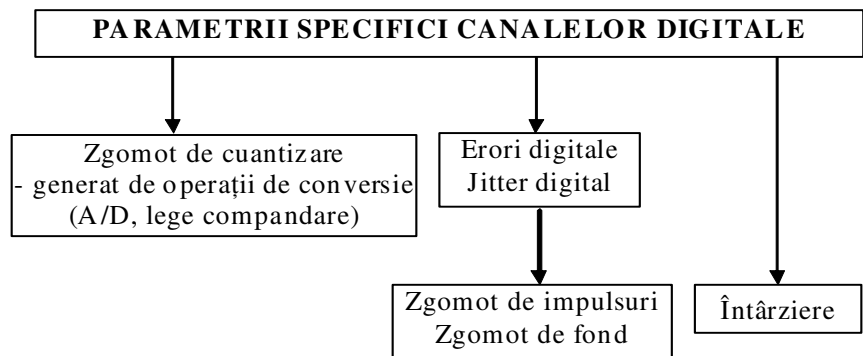


Fig. 2 Parametrii specifici canalelor telefonice digitale

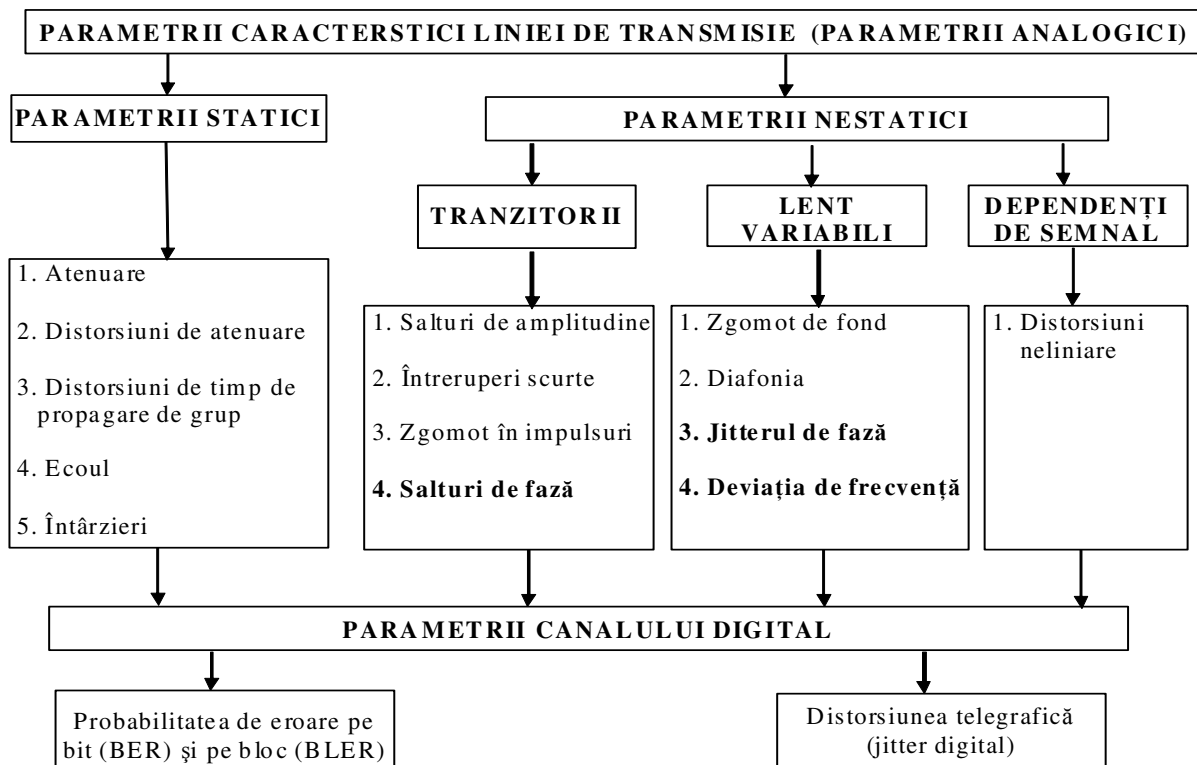


Fig. 3. Principalii parametri ai unui canal telefonic vocal ce conține circuite analogice și digitale

Parametrii din fig. 2 caracterizează de fapt un supercanal digital care include procesări de transmisie, multiplexare și comutație. O parte din acești parametri sunt determinați de procesări digitale, iar altele de procesări analogice, în special de procesele de transmisie, după cum rezultă și din figura 3. Parametrii prezentați în figura 3 caracterizează global canalele analogice, unii din acești parametri fiind caracteristici doar canalelor pe care se transmite semnal modulat. Acești parametri sunt prezentați cu caractere bold, restul parametrilor prezentați fiind caracteristici și canalului analogic dintre abonat și centrală. Parametrii canalelor analogice determină parțial parametrii canalelor digitale cum ar fi probabilitatea de eroare pe bit (BER) și pe bloc (BLER) și jitterul digital. În continuare se vor considera câțiva parametri ai canalelor analogice și digitale care sunt mai importanți în cazul rețelelor telefonice digitale și se va arăta efectul acestor parametri asupra calității transmisiei de voce și de date .

1. Distorsiuni de atenuare și de timp de grup

Caracteristica globală de intrare-ieșire în funcție de frecvență a unui canal de transmisie este definită prin funcția de transfer a acestuia $H(\omega)$: $H(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\phi(\omega)}$ (1), unde $A(\omega)$ este caracteristica de amplificare, iar $\phi(\omega)$ este caracteristica de fază, caracteristici care sunt independente de amplitudinea semnalului aplicat la intrarea canalului. Condiția de canal ideal constă în: $A(\omega) = ct$; $\phi(\omega) = \tau_g \omega + \phi_0$; $\tau_g = \frac{d\phi(\omega)}{d\omega}$ (2), adică caracteristică de amplificare constantă cu frecvența și caracteristică de fază liniară cu frecvența – caracteristică de timp de grup constantă cu frecvența. Distorsiunile de atenuare și de fază se manifestă prin modificarea, în funcție de frecvență a amplitudinii și a fazei unui semnal sinusoidal care se transmite printr-un sistem liniar, fără a produce armonici. Aceste distorsiuni sunt caracteristice transmisiilor analogice și proceselor de filtrare. În cazul de față se vor considera doar distorsiunile de atenuare și de timp de grup introduse de canalul analogic dintre abonat și centrala digitală, distorsiunile introduse de sistemele de transport fiind incluse în rata de eroare pe bit și pe bloc și în jitterul digital care afectează semnalele digitale transmise în aceste sisteme de transport. Trebuie reținut

că transmisiile de voce sunt sensibile doar la distorsiunile de atenuare, distorsiunile de timp de grup (distorsiunile de fază) neavând practic nici un efect asupra acestor transmisi. Transmisiile de date însă sunt sensibile atât la distorsiunile de atenuare cât și cele de timp de grup, acestea din urmă având chiar un efect mai mare decât distorsiunile de atenuare. O cauză majoră pentru distorsiunile de atenuare îl reprezintă cablurile bifilare torsadate din bucla de abonat (perechile din bucla de abonat), caracteristicile acestor linii fiind determinate preponderent de parametrii distribuți capacitivi, adică C/km , și rezistivi, adică R/km – *vezi laboratorul de cabluri*

Caracteristica de timp de grup a firelor torsadate are o variație lentă descrescătoare cu frecvența, distorsiunile de acest tip introduse de firele torsadate fiind neglijabile – de exemplu un cablu de lungime 10km cu conductoare cu diametrul de 0,6mm introduce în banda vocală o distorsiune de timp de grup de $75\mu s$ [Pa1].

O altă cauză de distorsiuni de atenuare la capătul inferior al benzii vocale îl constituie punțile de alimentare din centrală, punți care acționează ca și filtre trece sus cu frecvența de tăiere situată în jurul valorii de 300-400Hz – *vezi laboratorul cu apartaul telefonic*.

O sursă majoră pentru distorsiunile de atenuare și cele de timp de grup într-o rețea telefonică digitală o constituie filtrele de antialiere și cele de reconstrucție. În figurile 4 și 5 se specifică gabaritele de atenuare și de timp de grup impuse acestor filtre [IT712] – se consideră aceleași gabarite pentru filtrele de antialiere și pentru cele de reconstrucție. Caracteristicile din figurile 4 și 5 specifică practic limitele care trebuie îndeplinite în cazul filtrelor în discuție, nefiind posibilă specificarea unei caracteristici exacte de atenuare și de timp de grup.

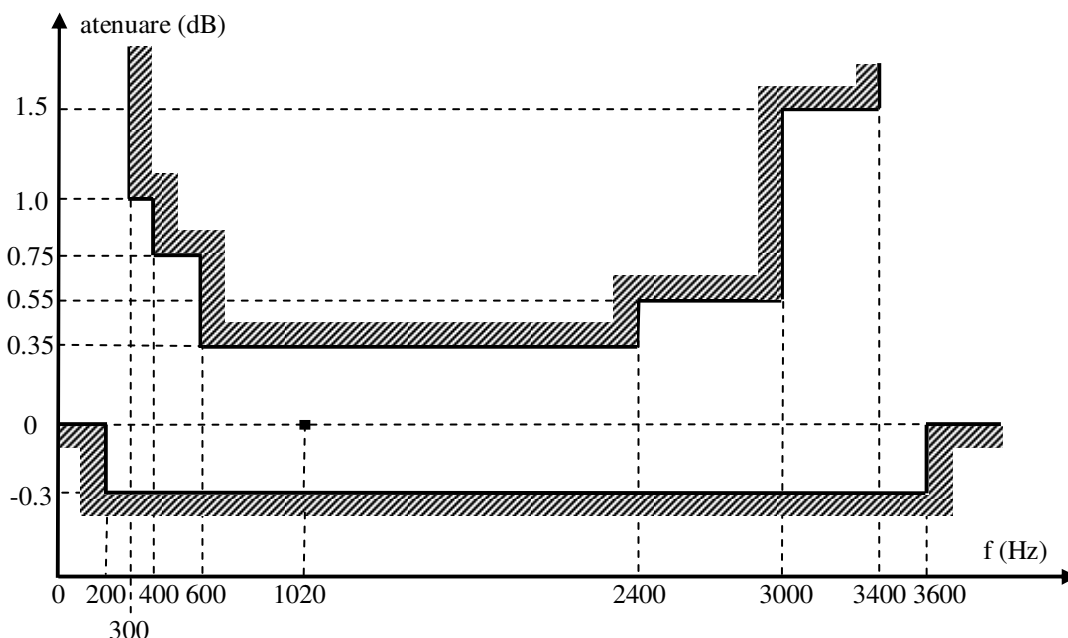


Fig. 4 Limitele caracteristicii de atenuare (gabarițul) a filtrelor de antialiere și de reconstrucție utilizate în codoarele și decodoarele PCM

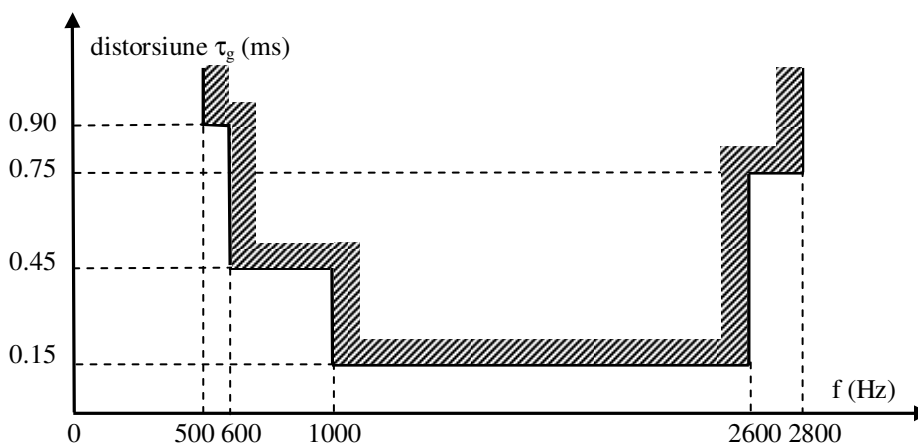


Fig. 5 Limitele caracteristicii de timp de grup (gabarițul) a filtrelor de antialiere și de reconstrucție utilizate în codoarele și decodoarele PCM

Analiza caracteristicii de atenuare a filtrelor de antialiere și reconstrucție arată că în domeniul de frecvențe situat între 600Hz și 3000Hz atenuarea poate varia între -0.3 și 0.55dB pentru un filtru, iar pe un canal (care include două filtre – unul de antialiere și unul de reconstrucție) între -0.6 și 1.1dB. Aceste variații relativ mici sunt impuse de sensibilitatea vocii la distorsiunile de atenuare și sunt corespunzătoare și pentru transmisiile de date în banda telefonică vocală. În ceea ce privește caracteristica de timp de grup, pentru frecvențele centrale ale canalului telefonic vocal (1000Hz – 2600Hz) se permit variații de 0.15ms ale timpului de grup, iar spre capetele benzii variații și mai mari, de 0.45ms sau 0.75ms. Această caracteristică de timp de grup este adecvată pentru transmisii de voce, dar nu este adecvată pentru transmisii de date, fapt care se poate demonstra printr-un calcul foarte simplu și anume: un debit de simboluri de 1200Bd (Baud) înseamnă o perioadă de simbol de aproximativ 833μs, iar un debit de simboluri de 2400Bd înseamnă o perioadă de simbol de aproximativ 416μs; variațiile posibile ale întârzierii componentelor spectrale în zona centrală a benzii telefonice pot atinge valori de 300μs – maxim 150μs introduse de filtrul de antialiere și maxim 150μs introduse de filtrul de reconstrucție, ceea ce înseamnă aproximativ 36% din perioada simbolurilor cu debitul de 1200Bd și 72% din perioada simbolurilor cu debitul de 2400Bd; rezultă o distorsionare puternică a simbolurilor transmise – fenomenul de interferență intersimbol ISI – „Intersymbol Interference”, în special în cazul debitului de 2400Bd; transmisiile de date la debite mai mari de 1200bps vor necesita utilizarea unor circuite egalizoare care să corecteze distorsiunile de timp de grup introduse de canalul telefonic.\

1.1 Ecoul

Este o altă sursă de distorsiuni de atenuare și de timp de grup. Însumarea unor semnale sinusoidale cu aceeași frecvență, dar defazate datorită întârzierii caracteristice ecoului, determină o caracteristică de amplitudine - frecvență și timp de grup - frecvență oscilantă, cu efecte negative în special asupra transmisiilor de date.

Apare datorită dezadaptărilor din sistemele diferențiale care fac trecerea de la transmisii pe două fire la transmisii pe patru fire și invers [pană1] [zăhan] [feher1]. Ecoul apare în realitate datorită dezechilibrelor de la capătul opus (îndepărat) și astfel există două tipuri de ecou și anume :

- ecou la transmisie
- ecou la recepție

În figura 6 se arată modul de formare al celor două tipuri de ecou.

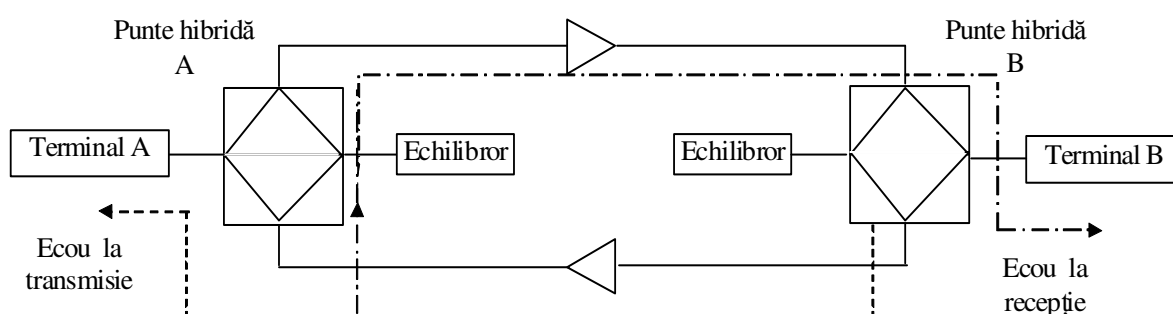


Fig. 6. Mecanismul de apariție al ecoului

În cazul în care există pe canal mai multe treceri de la 2 fire la 4 fire și invers, apar atât la partea de emisie cât și la cea de recepție ecouri multiple.

Efectul ecoului se manifestă complet diferit în cazul transmisiilor de voce și de date, efectele asupra transmisiilor de voce fiind analizate în paragrafele următoare datorită importanței majore pe care-l prezintă acest fenomen în telefonie.

În cazul transmisiilor de date efectul ecoului de la recepție asupra performanțelor acestor transmisii este foarte pronunțat, datorită apariției unei caracteristici de frecvență oscilante a canalului (atât caracteristica de atenuare cât și cea de timp de grup are o formă oscilantă),

caracteristică de frecvență determinată de adunarea vectorială a unor componente spectrale cu versiunile lor atenuate și defazate. Chiar dacă întârzierea este aceeași la fiecare frecvență, defazajul dintre componentele spectrale și versiunile întârziate se schimbă odată cu frecvența. Dacă atenuarea și întârzierea inserate de circuit pe traseul ecoului de la recepție sunt constante cu frecvența, atunci caracteristica de frecvență a circuitului afectat de ecoul de la recepție se poate descrie cu ajutorul procesului de filtrare realizat de filtrul din figura 7, filtru care are funcția de transfer dată de relația (3) [Fe1] [Zăh]. În figura 7, a_{ec} reprezintă amplificarea (câștigul) căii ecoului, adică $1/(\text{atenuare cale ecou})$, iar τ_{ec} reprezintă întârzierea căii ecoului.

$$H_{\text{filtru-ec}}(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{1}{1 - a_{ec} \cdot e^{-j\omega\tau_{ec}}}$$

$$X(\omega) = \text{Fourier}(x(t)) \quad ; \quad Y(\omega) = \text{Fourier}(y(t)) \quad (3)$$

$$|H_{\text{filtru-ec}}(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + a_{ec}^2 - 2 \cdot a_{ec} \cdot \cos(\omega \cdot \tau_{ec})}$$

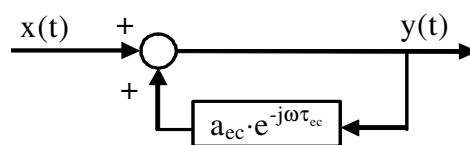


Fig. 7 Modelarea căii ecoului de la recepție

În figura 8 [Fe1] se prezintă pentru exemplificare funcția de transfer în frecvență a unui circuit afectat de ecou, circuit care introduce o întârziere de 1ms a ecoului și o atenuare a ecoului de 5 respectiv 2 (ca și raport), adică un câștig al căii ecoului de 0,2 și respectiv 0,5.

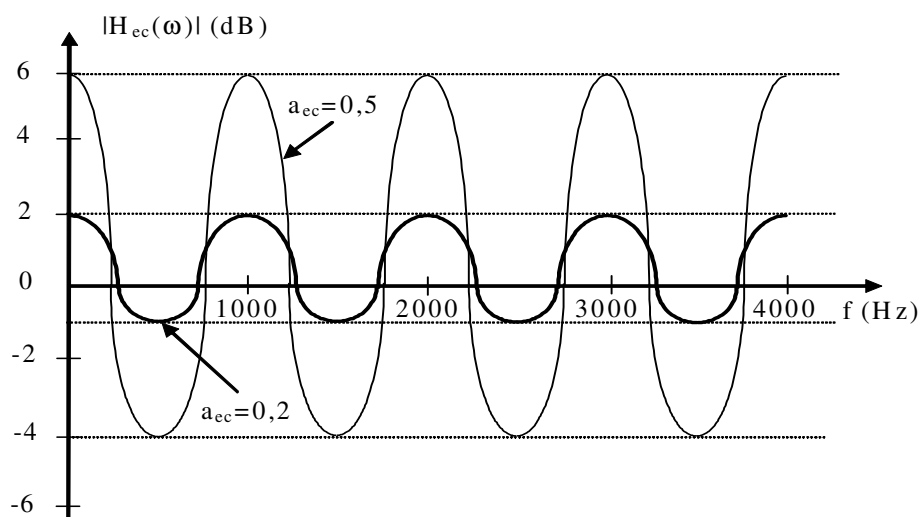


Fig. 8 Modulul funcției de transfer în frecvență al unui circuit afecta de ecou

2. Variațiile bruște de amplitudine și întreruperile

Variația bruscă de amplitudine a unui semnal de măsură, observat pe un canal vocal, este o modificare bruscă însă de valoare moderată, pozitivă sau negativă, care depășește un anumit prag (de ex. $\pm 2\text{dB}$) pe o durată mai mare de 4ms (vezi figura 9) [Pa1] [IT95]. O variație bruscă de amplitudine poate fi tratată ca un proces de modulație, având un caracter multiplicativ, descris de relația: $s(t) = A \cdot [1 + \Delta A(t)] \cdot \cos(\omega_p t)$ (4), unde A este amplitudinea semnalului, iar $\Delta A(t)$ variația de amplitudine. Variațiile bruște de amplitudine sunt fenomene relativ rare, întâlnite în special în sistemele analogice, având un caracter tranzitoriu. Cauzele de apariție sunt trecerile pe echipamente de rezervă, conectarea în paralele cu circuitul a unor aparate cu impedanță de intrare insuficient de mare, defecțiuni intermitente ale unor subansamble. Aceste variații afectează în special transmisiile de date pe liniile telefonice, situație în care se impune un număr maxim de 10 salturi de minim $\pm 2\text{dB}$ în 15 min.

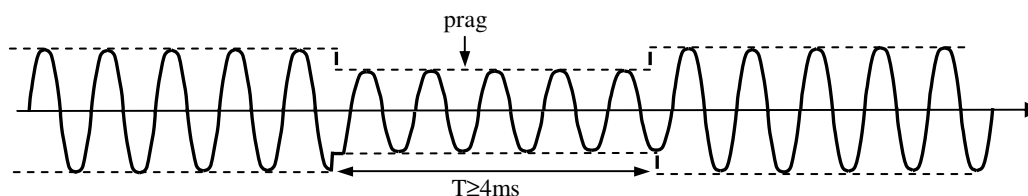


Fig. 9 Variații bruște de amplitudine

Înteruperile scurte ale unui semnal măsură care parcurge un canal vocal sunt scăderi profunde de nivel, sub un anumit prag determinat P și durate cuprinse între două valori T_1 și T_2 , în funcție de lărgimea de bandă disponibilă. Întreruperea presupune revenirea semnalului la valoarea inițială. Întreruperile pot fi considerate scăderi bruște de nivel minim de 10dB și care durează cel puțin 3,5ms [Pa1] [IT61]. Sunt evenimente rare cu caracter tranzitoriu, de regulă sunt concentrate în pachete și se pot trata ca și un proces de modulație în amplitudine. Acest fenomen este determinat în special de contacte imperfecte, operații de întreținere etc. și are un efect semnificativ în transmisii de date (se impune maxim 1 întrerupere la 30 min).

3. Întârzierile

Se datorează timpului de propagare finit al câmpului electromagnetic pe canal. Dacă întârzierea diferitelor componente spectrale este uniformă atunci acest parametru nu are prea multă importanță din punctul de vedere al transmisiei fizice a informației, dar are importanță la nivelul protocoalelor de comunicații care controlează transmisia.

4. Variațiile bruște de fază (salturile de fază)

Reprezintă o modificare bruscă, în avans sau în întârziere a fazei, care depășește un anumit prag, pe o durată de cel puțin 4ms [pană1]. Această ultimă condiționare este necesară pentru separarea acestui efect de zgomotul de impulsuri care afectează la rândul lui faza semnalului transmis. Originea acestui fenomen o constituie comutarea pe generatoare de rezervă în sistemele de curenți purtători sau de radioreleu, respectiv alunecarea semnalelor de tact în sisteme digitale de tip PCM. Limita maximă permisă este de 10 salturi în 15 min, la un prag de 15°.

5. Jitterul de fază

Se manifestă diferit în sistemele digitale și în cele analogice. În sistemele analogice jitterul de fază reprezintă o modulație parazită de fază continuă, manifestată prin modificarea momentelor de trecere prin zero ale unui semnal sinusoidal. În sistemele digitale jitterul se manifestă prin modificarea momentelor semnificative (de ex. fronturile) ale unui semnal digital față de pozițiile ideale.

În sistemele analogice jitterul de fază are de regulă o formă complexă staționară, constând dintr-o sumă de componente de forma [pană1]:

$$\Phi_j(t) = \sum_{i=1}^N \Phi_{ji} \cdot \cos(2\pi f_{ji}t + \varphi_{ji}) \quad (5)$$

unde Φ_{ji} , f_{ji} și φ_{ji} reprezintă amplitudinea, frecvența și faza fiecărei componente de jitter.

Frecvențele componentelor jitterului se încadrează în intervalul 4Hz – 300Hz, iar amplitudinile vârf la vârf ale acestor componente nu depășesc de regulă 20°.

Dintre cauzele care cauzează fenomenul de jitter în rețelele analogice se pot aminti :

- Filtrarea imperfecte ale surselor de alimentare, care pot afecta faza purtătorilor din sistemele de curenți purtători sau radioreleu în ritmul frecvenței rețelei (50Hz) și a armonicilor acesteia (100-300Hz).
- Variațiile lente de sarcină din centralele telefonice atunci când aceeași sursă alimentează și echipamentele de comutație și pe cele de multiplexare în frecvență (curenți purtători și radioreleu). De regulă aceste variații determină un jitter de frecvență joasă (2–10Hz).
- Reversul frecvenței de apel (20Hz).

În cazul sistemelor digitale jitterul de fază se manifestă ca și o modificare a fronturilor semnalului digital, modificare determinată de recuperarea imperfectă a tactului de la recepție sau din regeneratoare și de interferența intersimbol introdusă de canalul de transmisie [zăhan].

6. Deviația de frecvență

Reprezintă o deplasare pozitivă sau negativă de frecvență pe care o suferă un semnal transmis (componentele spectrale ale acestui semnal) pe canalul considerat. Acest fenomen apare

în sistemele care realizează multiplexare în frecvență (curenți purtători și radiorelee), datorită diferenței de frecvență și lipsei de sincronizare dintre generatoarele din stațiile terminale și cele de tranzit. Limita maximă permisă de ITU_T este de $\pm 5\text{Hz}$. Pe circuite naționale această limită poate fi mai mică, de ex. 2Hz sau 1Hz.

7. Zgomotul

Zgomotul constituie unul dintre cei mai importanți parametri ai sistemelor de transmisie și reprezintă orice perturbație care afectează un semnal util, prin însumare cu acesta. Efectele zgomotului asupra calității transmisiunilor sunt radical diferite în funcție de tipul serviciului (telefonie, transmisiuni de date, etc.). În transmisiunile telefonice zgomotul provoacă o „mascare” a pragului de audibilitate, prag care crește pe măsură ce nivelul zgomotului devine important, iar în transmisiunile de date efectul se manifestă prin apariția erorilor la partea de recepție. O clasificare a zgomotelor care se pot întâlni în sistemele telefonice este dată în figura următoare [Pa1]

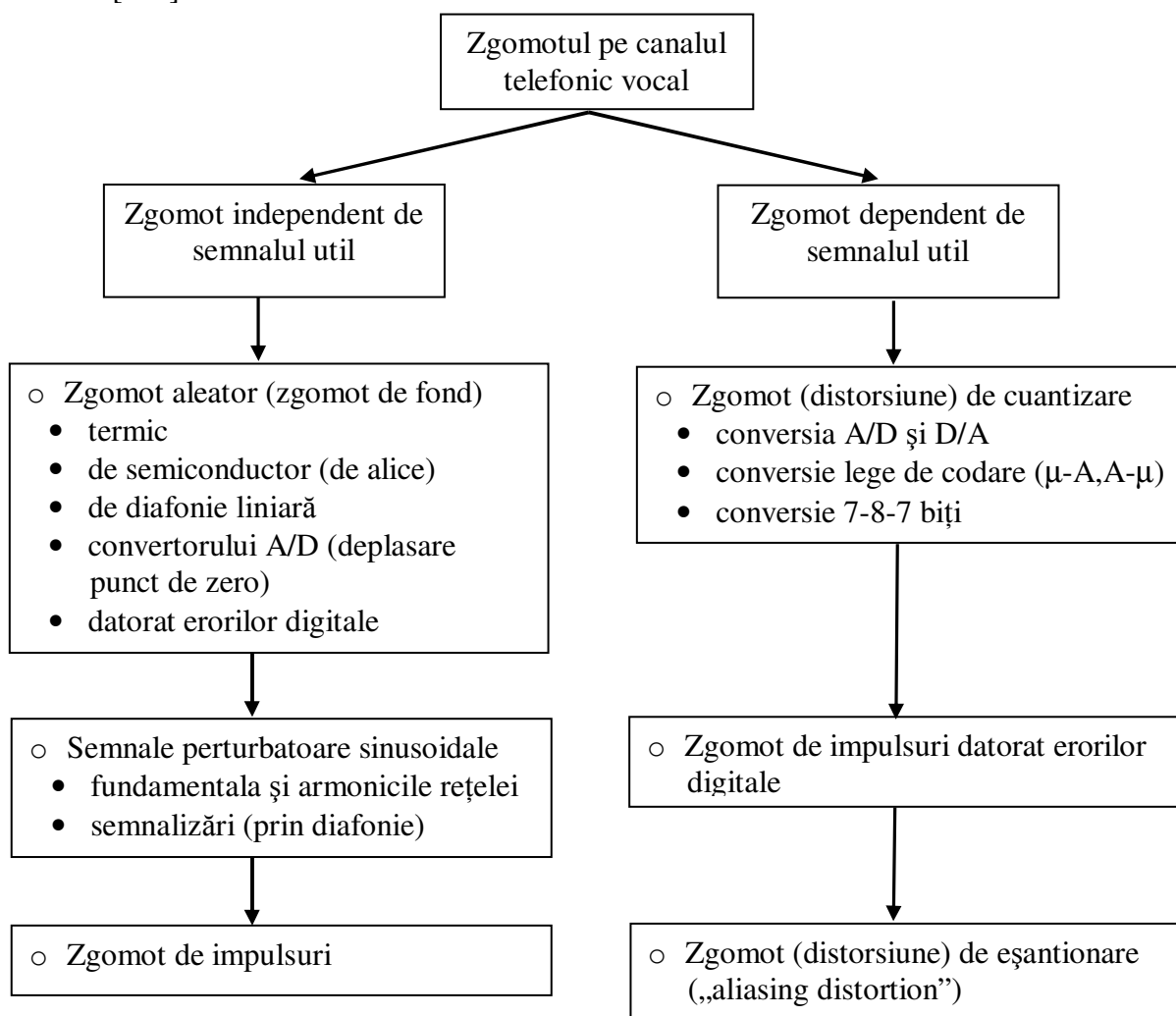


Fig. 10 Clasificarea zgomotelor caracteristice canalelor telefonice

Câteva comentarii utile referitoare la cele prezentate în figura 10 sunt următoarele: semnalele perturbatoare sinusoidale se induc în canalul telefonic prin fenomenul de diafonie, diferența dintre diafonia liniară și semnalele perturbatoare sinusoidale contând doar în tipul de semnal care se induce prin diafonie; zgomotul convertorului A/D nu este zgomotul de cuantizare ci un zgomot (distorsiune) datorat tensiunilor de offset ale convertorului, tensiune ce afectează conversia nivelurilor mici de semnal; erorile digitale din fluxurile de date generează de regulă impulsuri de zgomot, dar pot cauza și un semnal de zgomot de fond. În continuare se vor prezenta pe scurt parametrii caracteristici câtorva dintre componentele de zgomot care afectează canalul telefonic vocal. Componenta cea mai importantă a zgomotului independent de semnal îl

constituie zgomotul aleator (de fond), zgomot cu caracter staționar perceput ca și un fâșâit continuu. Componenta cea mai importantă a acestui zgomot de fond este zgomotul termic sau de rezistență, un zgomot cu distribuție spectrală de putere uniformă, de unde provine denumirea de zgomot alb. Valorile amplitudinii acestui semnal de zgomot sunt distribuite gaussian, fapt de unde provine o altă denumirea și anume cea de zgomot gaussian. Valoarea tensiunii de zgomot ce apare pe o rezistență de valoare R în banda de frecvențe B, la o temperatură de 20°C este dată de relația:

$$U_{ef} (\mu V) = 0.126 \cdot \sqrt{RB} \quad (6)$$

Valoarea efectivă a tensiunii de zgomot și distribuția amplitudinilor acestui zgomot sunt date de

$$\text{relațiile următoare: } U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (7.1) \quad w(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}x^2}; x = \frac{U}{U_{ef}} \quad (7.2)$$

O altă componentă a zgomotului de fond îl constituie zgomot de alicie generat de dispozitivele active. Este tot un zgomot alb dar este independent de temperatură.

Zgomotul de diafonie liniară este fenomenul prin care un semnal util apare într-un loc nepotrivit. Acest semnal de zgomot este inteligibil și atrage după sine pierderea confidențialității. Zgomotul de frecvență unică este determinat tot de fenomenul de diafonie și constă din semnale nedorite pe frecvențe fixe induse în canalul vocal. Acest zgomot are un caracter staționar, un exemplu tipic fiind brumul de rețea – *vezi laboratorul de cabluri*

Componenta cea mai importantă a zgomotului dependent de semnal îl constituie zgomotul de cuantizare introdus de coderele PCM datorită conversiilor A/D și D/A și de convertoarele de cod care asigură conversia cuvintelor de cod PCM obținute cu legile de compandare A și μ și a cuvintelor de cod PCM reprezentate pe 8 biți sau 7 biți. Distorsiunile de cuantizare generate de diferite operații de conversie reale se pot exprima în funcție de distorsiunea de cuantizare introdusă de un codec PCM ideal, distorsiune numită qdu („Quantization Distortion Unit). Este utilă în multe situații echivalarea zgomotului de cuantizare cu un zgomot alb, echivalare care este prezentată în tabelul 1.

m (qdu)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S/Z _g (dB)	59,8	49,6	44	39,7	36,6	33,8	31,5	29,5	27,8	26,4	25	23,9	22,7	21,6	20,5

Tab. 1 Echivalarea zgomotului de cuantizare exprimat în unități qdu cu zgomot alb

În tabelul 1 m este numărul de unități qdu, S nivelul semnalului vocal (-17dBm), Z_g este nivelul de zgomot alb echivalent (dBmp) – (p – nivel psfometric –vezi laboratorul cu definirea nivelelor), S/Z_g – raport semnal/zgomot alb (dB).

O altă componentă importantă a zgomotului ce afectează semnalul vocal o constituie zgomotul de impulsuri, zgomot care se caracterizează prin excursii de tensiune care depășesc cu mult vârfurile obișnuite ale zgomotului de fond, existent pe un canal de transmisie. Impulsurile de zgomot sunt cu cel puțin 12dB mai mari decât valoarea eficace a zgomotului de fond [Pa1] [IT71]. Zgomotul de impulsuri este mai puțin supărător în telefonie, datorită insensibilității urechii la acest gen de perturbații și poate fi perceput ca niște pocnituri izolate atunci când se depășește un anumit nivel, dar are o importanță mare în transmisiile de date realizate pe circuitele telefonice. Zgomotului de impulsuri este generat atât de fenomene care sunt independente de semnalul transmis cât și de fenomene dependente de semnalul transmis. Printre cauzele independente de semnalul transmis se găsesc: impulsurile de disc, impulsurile de taxare, semnale de apel, arcuri electrice, scânteii, lămpi fluorescente, iar erori digitale din fluxurile digitale PCM și din nivele ierarhice mai mari constituie cauza dependentă de semnalul transmis. Printre proprietățile zgomotului de impulsuri se pot aminti următoarele: variabilitate în timp, distribuție normală a nivelului impulsurilor, concentrarea în pachete – repartiție neuniformă în timp (vezi figura 11), variabilitate în funcție de perioada zilei și a săptămânii, limitări ale duratei minime și maxime pe un canal vocal datorită limitărilor de lărgime de bandă. Frecvența maximă de 3400Hz limitează durata impulsurilor la aproximativ 0,3ms, iar frecvența minimă de 300Hz

limitează durata la aproximativ 3ms, duratele cele mai probabile sunt cuprinse între 0,5ms și 1ms. Descrierea matematică a acestor impulsuri de zgomot este foarte complexă și depășește cadrul prezentării de față. Este vorba practic de patru funcții de distribuție și anume: distribuția amplitudinilor impulsurilor, distribuția duratelor impulsurilor, distribuția timpului dintre două impulsuri succesive și distribuția spectrală a impulsului.

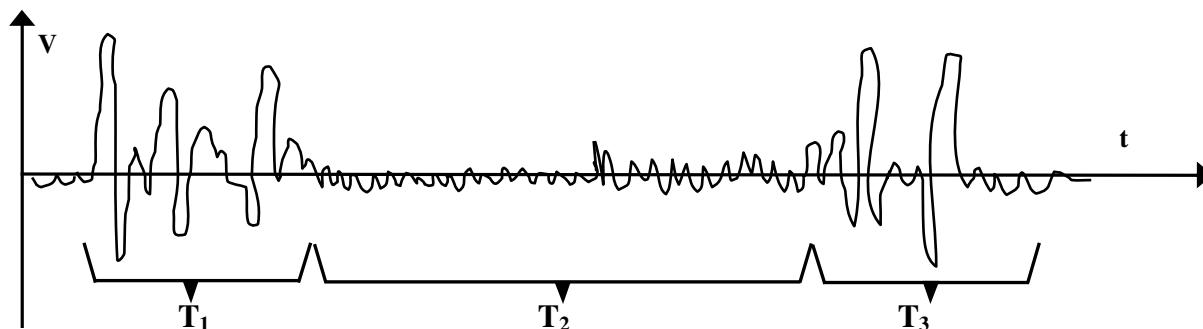


Fig. 11 Pachete de impulsuri de zgomot

În cazul zgomotelor de impulsuri generate de erorile din fluxurile digitale trebuie luat în considerare răspunsul filtrului de reconstrucție al decodului PCM la un impuls de zgomot și distribuția erorilor. Măsurătorile efectuate în sistemele telefonice arată că erorile în pachete (având de regulă o distribuție Neyman) antrenează un număr de impulsuri de zgomot mult mai mare decât erorilor izolate (având de regulă o distribuția binomială), mai ales atunci când numărul mediu de erori conținute într-un pachet este cuprins în limitele 5-10. În acest caz cel mai defavorabil (distribuția în pachete de 5-10 erori) obiectivul de 18 impulsuri / 15 minute impus de standardele ITU-T (standardele M.1020 și M1025 [IT1020] [IT1025]) este satisfăcut numai atunci când rata de eroare pe bit (BER) <math><10^{-6}</math> în fluxul digital de 2Mbps. Este de reținut că de regulă erorile din fluxurile digitale apar în pachete, iar erorile independente provin în general din fluxurile digitale superioare, pachetele de erori din aceste fluxuri reflectându-se în fluxurile primare PCM în urma demultiplexării ca și erori independente. În tabelul 2 se prezintă numărul mediu al impulsurilor de zgomot / 15 minute detectate utilizând un prag de -21dBm, pentru diferite distribuții ale erorilor din fluxul PCM, iar în figura 12 se prezintă răspunsul filtrului de reconstrucție al semnalului analogic la un impuls de zgomot izolat [Pa1].

		BER	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}
Distribuție erori							
Distribuție Neyman	5 ÷ 10	-	6	60	480	1880	
Numărul de erori din pachet	200	-	1	8	40	520	
Distribuție binomială			-	-	-	8	172

Tab. 2 Numărul de impulsuri de zgomot detectate în 15minunte la un prag de -21dBm pentru diferite probabilități de eroare pe bit și diferite distribuții ale erorilor

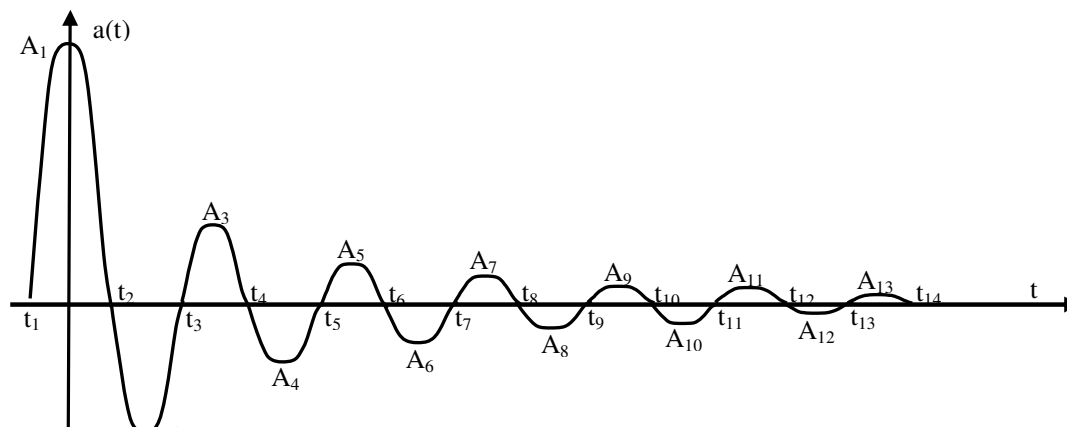


Fig. 12 Răspunsul la un impuls izolat al filtrului de reconstrucție din decodul PCM

Amplitudinile A_1, A_2, \dots și duratele impulsurilor care compun răspunsul filtrului de reconstrucție la un impuls de zgomot generat de erorile digitale din fluxul PCM depind de rangul biților eronați din cuvântul de cod PCM și de

Rang biți eronați	Amplitudine A_1 (dBm)
2	-22,1
3	-34,1
2 și 3	-10,1
2, 3 și 4	-4,1

numărul de cadre PCM (cadre de $125\mu s$) afectate consecutiv de pachete de erori, pachete de erori care cad în canalul telefonic digital considerat. În tabelul 3 se dă legătura dintre rangul biților eronați din cuvântul de cod PCM și amplitudinea A_1 în dBm (vezi figura 12). Cum era de așteptat efectul cel mai important îl au erorile care afectează biții de rang inferior, biții care selectează segmentul caracteristicii de compresie (vezi codarea PCM – capitolul 2).

Tab. 3 Amplitudinea răspunsului filtrului de reconstrucție la un impuls de zgomot generat de erori digitale ce afectează diferiți biți ai cuvântului de cod PCM

Zgomotul (distorsiune) de eșantionare (zgomot de aliere) este o altă componentă a zgomotului dependent de semnal și este determinat de fenomenul de aliere, adică de filtrarea necorespunzătoare a semnalului înainte de eșantionare.

O altă componentă foarte importantă a zgomotului dependent de semnal o constituie distorsiunea de neliniaritate introdusă de canalul de transmisie. Această distorsiune se manifestă prin apariția unor componente spectrale care iau naștere din semnalul util și se însumează cu acesta afectând în mod nedorit calitatea transmisiei. Principala sursă o constituie neliniaritatea caracteristicilor de intrare-ieșire ale diverselor elemente constitutive care intră în componența unui canal vocal (vezi figura 13), în cazul unui sistem telefonic digital fiind vorba în primul rând de neuniformitățile din caracteristica de conversie A/D, adică variațiile de câștig în banda vocală a acestor sisteme. În figura 14 se prezintă limitele impuse pentru variația amplificării a codoarelor și decodoarelor PCM [IT712].

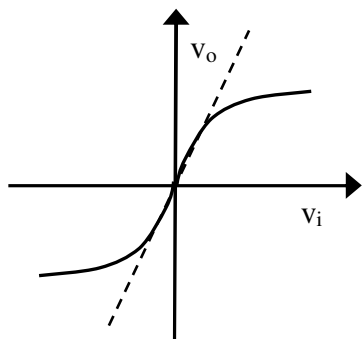


Fig. 13 Caracteristică de transfer în tensiune neliniară

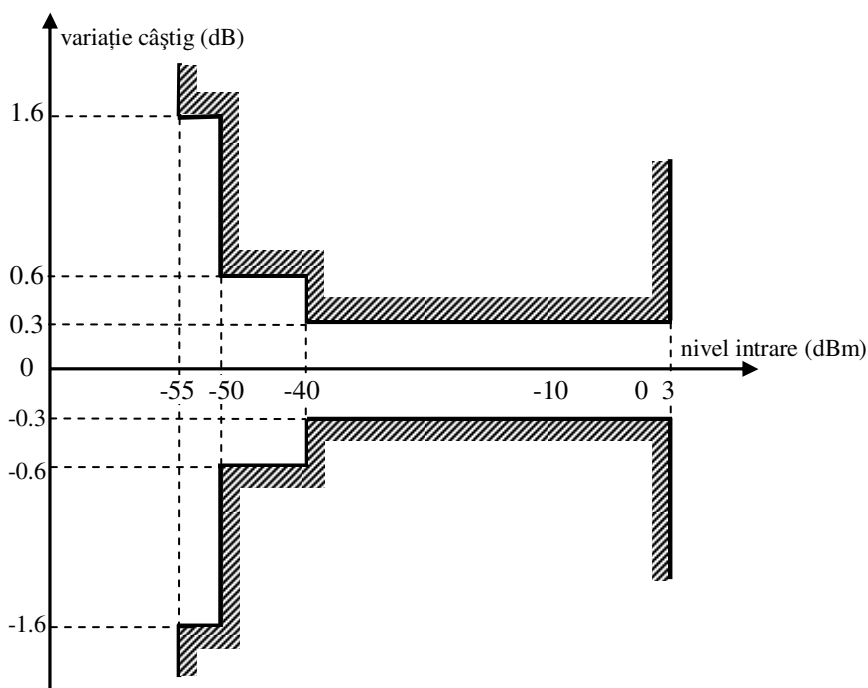


Fig. 14 Limitele variației de amplificare a codoarelor și decodoarelor PCM

Datorită sensibilității auzului la această distorsiune, variațiile de amplificare trebuie ținute în limite destul de stricte ($-0.3\text{dB} \div 0.3\text{dB}$) pentru cea mai mare parte a gamei dinamice a semnalului vocal ($-40\text{dBm} \div 3\text{dBm}$).

În ceea ce privește modul de exprimare a distorsiunii armonice, avem următoarele mărimi posibile [Pa1]:

- Distorsiunea armonică exprimată în procente: produsele armonice se exprimă pentru fiecare componentă armonică în parte: $d_k = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100\%$ (8.1), unde U_k este armonica de ordinul k , iar U_1 este fundamentala.

- Distorsiunea armonică totală:

$$d_t = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} \cdot 100\% \quad \text{sau} \quad \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}} \cdot 100\% \quad (8.2)$$

- Atenuarea de distorsiune armonică, mărimea cea mai uzuală în telecomunicații:

- Atenuarea de distorsiune armonică de ordinul k : $a_k = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_k} [\text{dB}]$ (8.3)

- Atenuarea de distorsiune armonică totală: $a_t = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}} [\text{dB}]$ (8.4)

Observație: semnalul de test utilizat pentru determinarea parametrilor distorsiunilor neliniare este un semnal sinusoidal, semnal ce are o singură componentă spectrală.