

capitolul 2 SEMNALE IN TELECOMUNICAȚII.

2.1. Introducere

O mărime fizică care există și evoluează în timp este un **semnal** (fizic).

Semnalele sunt de o mare varietate: electrice (tensiuni, curenți), electromagnetice (intensitate câmp electric, inducție câmp magnetic), termice, mecanice, optice, biologice etc.

Semnale pot fi:

- *utile*, dacă sunt folosite într-un scop oarecare, sau
- *perturbații* - orice semnal, altul decât cel util, este o perturbație; semnalele perturbatoare aleatorii sunt numite de obicei *zgomote*.

Semnalele, mărimea care le reprezintă, există și variază în timp și, în funcție de modul în care se realizează aceasta, pot fi *deterministe* sau *aleatoare*:

- Dacă evoluția în timp a semnalului este descriabilă printr-o funcție de timp $s(t)$, astfel ca însușirile sale să poată fi cunoscute la orice moment, semnalul este *determinist*.
- Dacă semnalul este astfel încât nu este posibilă descrierea evoluției sale în timp – și deci predicția caracteristicilor sale nu este posibilă, semnalul este *aleator* (întâmplător). Asupra caracteristicilor semnalului aleator se pot face cel mult aprecieri probabilistice – de exemplu, se poate calcula probabilitatea ca un moment dat nivelul semnalului să se încadreze între anumite limite.

În telecomunicații, semnalele utile, purtătoare ale informației de transmis, sunt aleatorii; de exemplu, semnalul vocal la ieșirea unui microfon, semnalul de imagine video, semnalul la ieșirea unui scanner etc., sunt aleatoare – nu se poate prezice ce se va spune, ce se va întâmpla în câmpul filmat, ce urmează să se scaneze pe pagină. Pe de altă parte, se vehiculează și semnale deterministe, cum sunt semnalele de test (de exemplu semnale sinusoidale), semnale de sincronizare (în TV) etc.

După modul în care evoluează în timp, semnalele utilizate în telecomunicații, deterministe sau aleatoare, pot fi: *analogice* (continue, cu nivel variabil), *cuantizate*, *eșantionate* sau *eșantionate și cuantizate* – fig. 2.1:

- *Semnalele analogice* au nivele specificate, existente, într-un număr infinit de puncte dintr-un interval de nivele și într-un număr infinit de puncte pe axa timpului și pot prezenta discontinuități;
- *semnalele eșantionate* (cuantizate sau discretizate în timp) au nivele specificate (existente) numai în anumite momente care formează un șir discret;

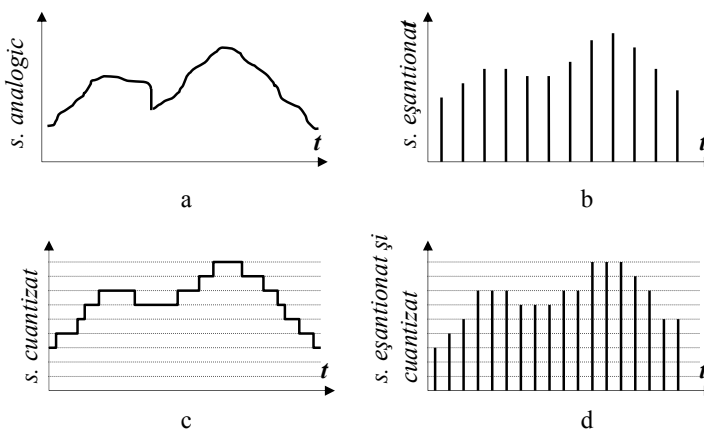


Fig. 2.1. Semnale: analogic (a), eșantionat (b) cuantizat continuu în timp (c) și eșantionat și cuantizat (d)

- *semnale cuantizate* (discretizate în nivel, cu continuitate în timp), cu nivele existente pe întreaga axă a timpului, dar care formează un șir de valori discrete în intervalul de nivele limită;
- *semnale eșantionate și cuantizate* cu nivele și momentele de existență formând șiruri discrete.

În general, semnalele eșantionate și cuantizate se numesc *semnale discrete*.

Un semnal eșantionat, cuantizat și apoi *codat* (fiecărui eșantion îi corespunde, după o anumită regulă sau lege de codare, o succesiune de impulsuri) este numit *semnal digital*; două exemple apar în fig. 2.2.

Prin *codare* se înțelege operația sau ansamblul de operații care se aplică oricând un semnal (sau o reprezentare abstractă a unui semnal) este transformat în alt semnal (sau într-o reprezentare abstractă) după o regulă, un algoritm, set de reguli care formează un *cod*; operația inversă se numește *decodare*. Limbajul este o exprimare codată, criptarea este o codare etc. Rezultatul codării poate fi un semnal fizic sau o reprezentare (mărime) abstractă. Astfel, reprezentarea valorilor eșantionate și cuantizate ale unei tensiuni (mărime fizică) sub formă de numere (mărime abstractă) este o *codare*; evident, nu este posibilă codarea unui semnal analogic (ar trebui numere cu infinit de multe cifre, infinit de apropiate în timp). În funcție de baza de numerație, codul numeric poate fi: binar (0, 1), zecimal (0, 1, ..., 9), hexazecimal (0, 1, ..., 9, A, B, ..., F) etc. La rândul lor, numerele pot fi reprezentate – deci *codate*, sub formă de semnale fizice care evoluează în timp; evident acestea sunt semnale eșantionate și cuantizate dar și codate – sunt semnale *digitale*.

Din multe motive, codul numeric cel mai utilizat în telecomunicații este cel *binar*, utilizabil în numeroase variante (binar natural, în complement la 2, Gray, detector - corector de erori în multe variante etc.).

Frecvent, semnalul fizic rezultat în urma codării se numește *semnal în banda de bază* iar codul utilizat este numit *cod de linie*.

Din alt punct de vedere, semnalele utilizate în telecomunicații pot fi *simple* sau *modulate*:

- *Semnalele simple* (nemodulate) sunt oscilații periodice, sinusoidale sau impulsuri de diferite forme, care nu vehiculează informații utile (semnale aleatoare tip vocal, video sau de date).
- *Semnalele modulate* sunt cele formate dintr-o *oscilație purtătoare* cu unul sau mai mulți parametri modificați de către un semnal *modulator*. Oscilația purtătoare este deterministă iar semnalul modulator poate fi determinist sau aleator.

2.2. Semnale utile în telecomunicații

2.2.1. Introducere

În telecomunicații sunt vehiculate o varietate de semnale – unele utile (cu informații, pentru teste, comenzi, sincronizări etc.), altele inutile – perturbații.

La modul cel mai general, semnalele utile sunt:

- purtătoare de informații, de tip aleator, dintre care principalele sunt: semnalele audio (vocal și muzică), semnalele TV și semnalele de date;
- semnale de test și de control, de tip determinist, de o mare varietate, cum sunt: tonuri cu frecvențe fixe sau combinații, semnale de sincronizare de diverse tipuri etc.

Structura unui sistem de telecomunicații determină caracteristicile semnalelor vehiculate, utile și perturbații.

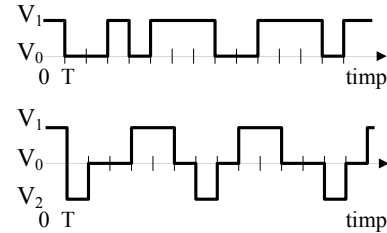


Fig. 2.2. Semnale digitale codate cu 2 și cu 3 nivele

Studiul comportării sistemelor se face cu aparatul matematic disponibil. Analiza sistemelor folosind reprezentările semnalelor în domeniul timp este dificilă, adesea imposibilă, cu excepția cazurilor foarte simple, deoarece:

- semnalele (cel puțin cele utile și zgomotul) sunt aleatoare și nu pot fi descrise în timp;
- analiza în timp se face cu ecuații diferențiale, greu de manipulat, de rezolvat, adesea fără soluție generală.

Ca urmare, se folosesc alte reprezentări ale semnalelor, dintre care cea mai folosită este în domeniul frecvență, destul de simplă și mai ales intuitivă.

Semnalele reale sunt limitate în timp, având spectrul extins la infinit. Nici un sistem real nu poate vehicula semnale într-o bandă de frecvență infinită fără să le modifice în nici un fel. Un sistem capabil să asigure semnalul de ieșire asemenea cu cel de intrare, adică:

$$\mathbf{x}_e(t) = \mathbf{K} \cdot \mathbf{x}_i(t), \quad (\mathbf{K} = \text{constant, real}) \quad (2.1)$$

se numește *nedistorsionant* și nu poate fi realizat.

Aceasta înseamnă că nici un semnal recepționat nu este asemenea cu cel de intrare, adică este *distorsionat*. Problema este “cât de mare este distorsiunea” introdusă de sistem.

În domeniul frecvență, lipsa distorsiunilor înseamnă că semnalul de ieșire din sistem are același spectru (raportat la o constantă) ca și cel de intrare. Orice diferență între spectre înseamnă că există distorsiuni.

Observațiile de mai sus duc la următoarele concluzii:

- un sistem nedistorsionant nu se poate realiza;
- distorsiunile trebuie să fie destul de mici pentru ca informația să poată fi recuperată;
- este necesară cunoașterea spectrului semnalului de intrare (util) și determinarea spectrului necesar pentru ca la recepție mesajul să fie inteligibil (la calitatea impusă);
- cunoscând caracteristicile semnalului util la intrare și a celui necesar la ieșire, se poate proiecta și realiza sistemul de comunicații astfel încât să asigure transmiterea spectrului cu distorsiuni acceptabile.

În sistemele de telecomunicații se vehiculează o varietate de semnale utile, dintre care cele mai frecvente sunt: semnalul audio (de audiofrecvență, AF), semnalul video (de televiziune, TV) și semnalele de date (digitale), foarte diverse (acestea sunt materializări ale cuvintelor binare codate în variate moduri). Semnalele deterministe vehiculate se încadrează de regulă, ca formă în timp sau spectru în una dintre categoriile enumerate mai sus.

2.2.2. Semnalul audio

Semnalele cu spectrul în intervalul 10-20Hz ... 20-25kHz sunt considerate semnale de *audiofrecvență* (audio, AF), deoarece sunt percepute de urechea umană când sunt sub formă de variații ale presiunii aerului.

Semnalul audio poate fi: *vocal* sau *muzical*.

Semnalul vocal (vorbire) are spectrul extins de la 20-40 Hz la 8 –10 kHz (componentele din afara acestui interval transportă sub 10^{-3} din puterea totală).

Folosind eşantioane de vorbire – fraze tip, s-a calculat spectrul folosind FFT; s-au obținut curbe ale densității spectrale de putere ca în fig. 2.3. S-a constatat că cea mai mare parte din energie este concentrată într-un interval mic de frecvențe, în jurul a 300 – 2000Hz. Pe de altă parte, timbrul – care face identificabilă vorbirea, este determinat de componentele cu frecvență ceva mai mare, până pe la 3 – 4 kHz. Ca urmare, se consideră acceptabilă banda

240-300 ... 2700-3400 Hz. Deși componentele sub circa 300Hz au destul de multă putere, s-a constatat experimental că nu contribuie esențial la inteligibilitatea vorbirii.

Semnalul (provenit din vorbire) cu spectrul limitat la banda 240-300 ... 2700-3400Hz se numește uzual semnal *telefo- nic* (deoarece sub această formă este vehiculat în telefonie).

Semnalul muzical are spectrul extins de la sub 20-40Hz la peste 20kHz. S-a constatat că fidelitatea audicienii este satisfăcătoare dacă se transmite numai banda 50-100 ... 8000-10000Hz; un asemenea semnal (provenit din vorbire sau muzică) este numit adesea semnal *radiofonic*.

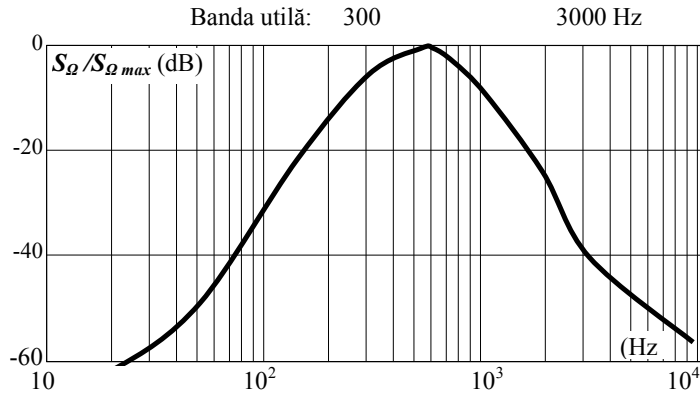


Fig. 2.3. Densitatea spectrală de putere a semnalului vocal

Nota 1. Sunetul este o variație a presiunii aerului p . Puterea unui sunet este proporțională cu pătratul presiunii sonore $P_{sunet} = const \cdot p^2$ și se numește *intensitate sonoră* I_s , (în W, mW, ...). Este foarte dificilă măsurarea constantei și de aceea se preferă reprezentările relative.

Senzația produsă de un sunet se numește *tărie* sau *intensitate auditivă* și depinde de frecvență: la aceeași intensitate (presiune sonoră), tăria audicienii (senzația) este mai mare la frecvențe medii (aproximativ 1000 Hz) decât la cele mai joase sau mai înalte. Altfel spus, aceeași tărie (senzație) se obține pentru intensități sonore mai mari la frecvențe joase și înalte decât la frecvențe medii.

Cea mai mică intensitate sonoră la care se percepe o senzație auditivă se numește *prag de audibilitate*, dependent de persoană, condiții de măsură și frecvență.

În practică, se consideră ca *intensitate sonoră* (putere) de referință I_{s0} aceea corespunzătoare pragului auditiv la frecvența de 1000 Hz; (în medie, aceasta corespunde unei presiuni auditive $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ bar). Ca urmare, exprimarea relativă (în dB) a intensității sonore este:

$$I_{s(dB)} = 10 \log(I_s / I_{s0}) = 20 \log(p / p_0).$$

Tăria auditivă (T) se exprimă relativ, ca referință fiind considerată senzația la pragul de audibilitate:

$$T_{(dB)} = \frac{\text{senzația la intensitatea sonoră } (I_s) \text{ aplicată}}{\text{senzația la pragul auditiv } (I_{s0})}$$

Aceasta se exprimă în dB deoarece senzația auditivă variază aproximativ logaritmice cu intensitatea sonoră (la creșterea de 10 ori a I_s , senzația este de dublare a "tăriei").

$I_{s(dB)}$ și $T_{(dB)}$ au valoarea zero la pragul auditiv la 1000Hz.

Experimental s-au trasat curbe ale sensibilității urechii umane (fig. N1-1): pe verticală este indicată intensitatea sonoră care asigură aceeași tărie (senzație) la diferite frecvențe.

Variația tăriei auditive cu frecvența are implicații importante, în primul rând asupra efectelor zgomotului, inerent în orice sistem de comunicații. Din curbele alăturate rezultă că sunetele, deci și zgomotele sonore de joasă și înaltă frecvență sunt mai puțin supărătoare ("se aud" mai slab) decât cele cu frecvențe medii.

În sisteme apar zgomote – perturbații aleatoare cu spectru larg, practic constant în banda AF. Raportul semnal-zgomot este o caracteristică importantă a oricărui sistem de comunicații: cu cât acest raport este mai mic,

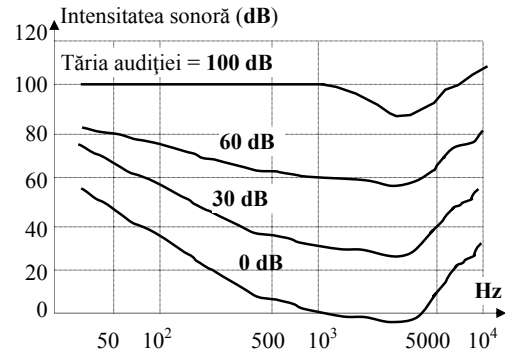


Fig. N1-1. Sensibilitatea urechii umane

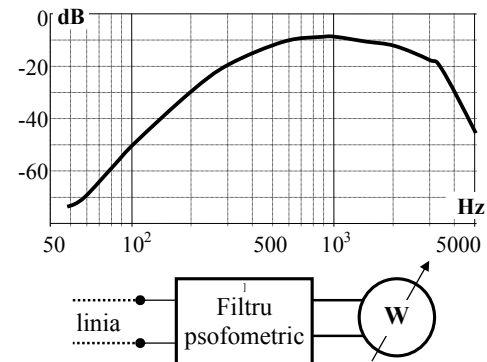


Fig. N1-2. Caracteristica de frecvență a filtrului psofometric și montarea pentru măsură

cu atât mai dificilă este extragerea semnalului util; sub anumite rapoarte comunicația devine imposibilă.

În aprecierea efectelor zgomotului asupra audierii trebuie să se țină seama de caracteristica de frecvență a sensibilității urechii umane. Pentru aceasta, când se fac măsurători de zgomot în canale telefonice, se introduce un *filtru psfometric* cu caracteristica de frecvență ca în fig. N1-2, aproximativ inversă caracteristicii auzului; acest filtru se instalează între canalul măsurat și wattmetru.

Nivelul zgomotului măsurat psfometric se exprimă de obicei în **dBmp** (De-Be-Me-Pe)

Puterea zgomotului măsurată la ieșirea filtrului psfometric este mai mică decât puterea zgomotului în aceeași bandă de frecvențe de la intrare. Experimental se constată o reducere cu 2,5 dB (0,562) în banda 300 – 3400 Hz (3100 Hz lărgime de bandă). Această reducere a zgomotului poate fi interpretată ca o îngustare a benzii în care se măsoară zgomotul; este ca și cum s-ar măsura puterea zgomotului (fără filtru psfometric) într-o bandă $3100 \cdot 0,562 = 1750$ Hz.

Normele indică puterile admisibile ale zgomotelor din canalul telefonic. De obicei, acestea sunt date în punctul de referință (cu nivel **0dBm**) pentru un circuit fictiv cu lungimea de 2500km. Nivelele de zgomot admise în punctul de referință sunt de ordinul a **10000pWp** (pW măsurați psfometric), adică **-50dBmp**. Pentru alte canale (radiorelee, traiecte spațiale, ...), se recomandă alte nivele, de același ordin de mărime. Cunoscând variația puterii pe canal, se pot calcula nivelele de zgomot în orice punct al canalului.

Nivelul zgomotelor variază în timp, deci și efectele asupra audierii. Practic, peste nivelul mediat pe o perioadă îndelungată (ore ... luni), se suprapun zgomote cu nivele mai mari, tot mediate dar pe durate scurte (5ms ... 1 minut). De aceea, specificațiile din norme prevăd pe lângă nivelul mediu limită (10000pWp indicat mai sus) și nivele limită mediate pe durate scurte, care sunt admise să apară într-o fracțiune dintr-o perioadă de timp indicată (de exemplu, se admite zgomot de 47500 pWp mediat într-un minut în cel mult 0,1% dintr-o lună cu zgomote intense).

În orice canal atenuarea componentelor spectrale ale semnalelor variază cu frecvența. Ca urmare, normele prevăd limite între care trebuie să se încadreze caracteristicile de frecvență ale canalelor, în funcție de tip. De exemplu, pentru canale telefonice, normele CCITT impun limitele admisibile ale atenuării care trebuie să se încadreze în regiunea umbră a caracteristicii din fig. N1-3.

Într-un canal de comunicații analogice puterea (nivelul) semnalului util variază în limite destul de largi, raportul acestor limite reprezentând *gama dinamică* a semnalului:

$$\text{Dinamica (dB)} = 10 \log(\text{Nivel maxim} / \text{Nivel minim})$$

În literatură, nivelul relativ al semnalului vocal (exprimat logaritm) mai este numit și nivel dinamic sau volum.

Din punctul de vedere al circuitelor, gama dinamică a semnalelor nu poate fi oricât de mare: limita inferioară este determinată de posibilitatea separării de zgomote iar limita superioară de posibilitățile de prelucrare electronică a semnalelor (saturație, distorsiuni). Gama dinamică a vorbirii este de ordinul a 80dB iar în cazul muzicii ajunge la 120dB. Este greu să se prelucreze, fără distorsiuni majore, semnale cu nivel variabil între asemenea limite largi. (În literatură, nivelul relativ al semnalului vocal exprimat logaritm, mai este numit și nivel dinamic sau volum.)

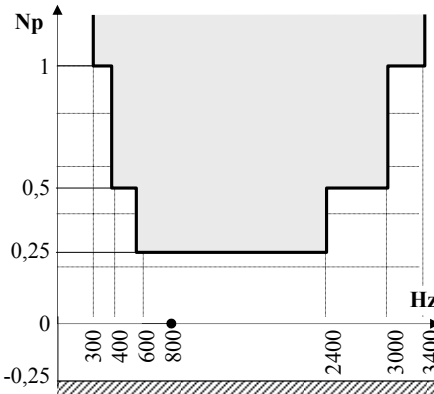


Fig. N1-3. Limitele admisibile ale caracteristicii de frecvență a canalului telefonic

2.2.3. Semnalul TV

Semnalul electric purtător de informații asupra caracteristicilor culorilor (strălucire, nuanță, saturație) este un *semnal de videofrecvență*, rezultat din transformarea optoelectronică a imaginilor cu ajutorul camerei de luat vederi. Semnalul complex TV, pe lângă semnalul de videofrecvență conține și semnalele de stingere, de sincronizare linii și cadre și salve de impulsuri (burst) pentru sincronizarea purtătoarei de culoare.

În prezent, o cameră de luat vederi conține trei tuburi videocaptoare. Imaginea este descompusă în trei fascicule corespunzătoare celor trei culori fundamentale: roșu (Red), verde (Green) și albastru (Blue). Din acestea se obțin trei semnale (**R**, **G** și **B**) corespunzătoare celor trei culori, fiecare conținând informații asupra strălucirii și nuanței culorilor captate.

Prin sumarea ponderată a celor trei semnale și aplicarea unei *corecții gamma*, se obține *semnalul de luminanță* (luminozitate) $Y = k_R R + k_G G + k_B B$ care nu conține informații de culoare, fiind identic cu cel obținut cu o cameră alb negru. Cu acest semnal, după inserarea impulsurilor de sincronizare, se modulează în amplitudine purtătoarea de RF. Semnalul video ocupă o bandă de frecvențe până la peste 7MHz, dar acceptând o degradare a reproducerii detaliilor fine și de la marginea ecranului, banda se limitează la circa 5MHz.

Semnalul de crominanță (culoare), conține numai informația de culoare, fără informații de luminozitate și se obține din semnalele R , G , B și Y . Mai întâi se efectuează diferențele $R - Y$, $G - Y$ și $B - Y$. Dispunând de semnalul Y și două semnale diferență ($R - Y$ și $B - Y$), al treilea ($G - Y$) se obține în receptorul TV. Semnalul de crominanță conține cele două semnale diferență de culoare ($R - Y$ și $B - Y$). Deoarece sensibilitatea ochiului la detalii colorate fine este redusă, spectrul semnalelor diferență de culoare poate fi sensibil redus

Modalitatea de transmisie a semnalului de crominanță diferă, în funcție de sistem (NTSC, PAL sau SECAM).

În sistemul PAL (asemănător cu NTSC), semnalul de crominanță se obține prin modularea în cuadratură a unei subpurtătoare de crominanță cu frecvența f_{sc} cu semnalele (U și V) diferență de culoare ponderate $U = k_u (B - Y)$, $V = k_v (R - Y)$ după schema bloc din fig. 2.4. După modularea în amplitudine cu purtătoare suprimate a purtătoarelor defazate cu 90° ($\cos \omega_{sc} t$ și $\sin \omega_{sc} t$) semnalele se sumează diferit de la o linie (n) la următoarea ($n + 1$): $C = U \cos \omega_{sc} t + V \sin \omega_{sc} t$ - linii de rang n ; $C = U \cos \omega_{sc} t - V \sin \omega_{sc} t$ - linii de rang $n + 1$. Astfel, faza semnalului de crominanță (C) alternează de la o linie la următoarea, realizându-se compensarea erorilor de fază la recepție – principala deficiență a sistemului NTSC.

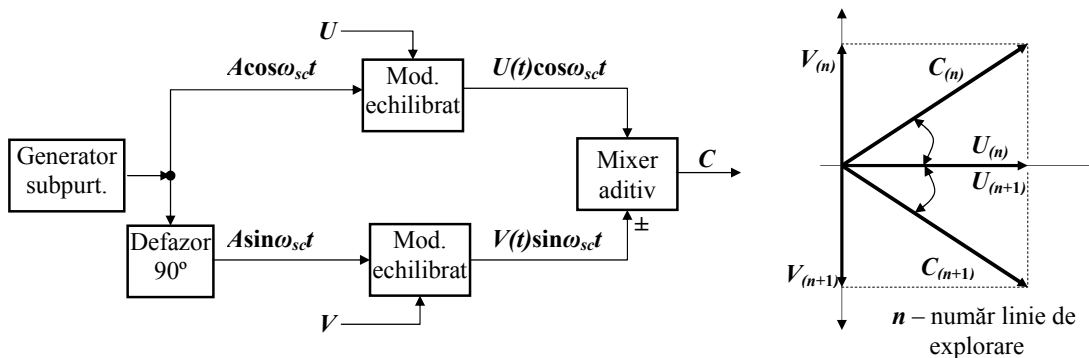


Fig. 2.4. Circuit de modulare a subpurtătoarei de crominanță (sistem PAL): schema bloc și diagrama semnalelor

Semnalul de crominanță este de bandă largă, dar ochiul este puțin sensibil la detalii colorate fine corespunzătoare componentelor cu frecvență mare – acestea se transmit în alb negru. Ca urmare, banda semnalului de crominanță se poate reduce la circa 500kHz și acest semnal se poate insera în partea superioară a benzii semnalului video, mai puțin ocupată, care cuprinde detaliile fine ale imaginii și pentru care se acceptă o reproducere mai puțin fidelă.

Pentru ca semnalul de crominanță să nu afecteze reproducerea imaginilor în alb negru, frecvența subpurtătoarei de crominanță (f_{sc}) se alege să respecte anumite relații față de frecvența de baleiaj pe orizontală f_H și pe verticală f_V . În sistemul PAL norma B, $f_H = 15625\text{Hz}$, $f_V = 50\text{Hz}$, pentru care se obține $f_{sc} = 4,43361875\text{MHz}$.

La recepție, pentru demodulare, este necesară refacerea purtătoarei de crominanță, ceea ce se realizează cu un oscilator inclus într-o buclă cu calare de fază. Pentru sincronizare, se transmite semnalul de purtătoare de crominanță sub forma unei salve (burst) de 10 ± 1 oscilații complete inserată pe flacul posterior al fiecărui impuls de stingere linii – fig. 2.5.

Semnalul video complex (fără semnalul de cromaticitate) are aspectul din fig. 2.5, cu nivele între limite bine precizate pentru a fi posibilă separarea impulsurilor de semnalul video.

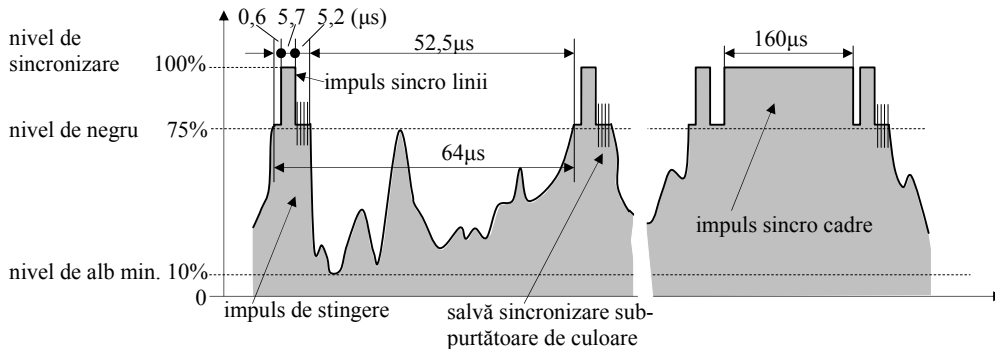


Fig. 2.5. Semnalul video complex (PAL, norma B)

După fiecare cursă activă a spotului pe ecran (linie), un impuls de stingere asigură extincția spotului pe durata cursei inverse. Pe impulsul de stingere se suprapune impulsul de sincronizare linii. Explorarea și redarea imaginilor se face “întrețesut”, deci o imagine (cadru, frame) este formată din două câmpuri; primul câmp (field) dintr-un cadru cuprinde liniile impare iar următorul pe cele pare. După fiecare câmp se transmite câte un impuls de sincronizare cadre, suprapus pe impulsul de stingere. Separarea impulsurilor de sincronizare se face pe baza duratei lor, mult diferite. În norma B, frecvența cadrelor este 25Hz iar a câmpurilor (și a impulsurilor de sincronizare cadre) este 50Hz.

Semnalul TV este întotdeauna pozitiv (fig. 2.5), cu o valoare medie (componenta continuă) dependentă de luminozitatea medie a imaginii, lent variabilă în timp. Ca urmare, în spectrul semnalului video există componente cu frecvențe 0 ... 2 – 5Hz.

Frecvența maximă din spectru este determinată de semnalul de luminanță, practic identic în televiziunea alb-negru și color și este de peste 7MHz. Acceptând oarecare degradare a reproducerii, se poate limita banda la 5MHz (norma B).

Astfel, spectrul semnalului TV complex în banda de bază ocupă banda 0 – 5MHz (norma CCIR PAL-B), ca în fig. 2.6.

Frecvența maximă din spectru se poate calcula astfel.

În cazul cel mai favorabil, al unei imagini sub forma unui dreptunghi alb sau negru, semnalul este o succesiune de impulsuri dreptunghiulare cu durata unei linii T_l . În cazul cel mai defavorabil, al unei imagini sub forma unei table de șah (alb/negru), cu pătratele de dimensiunea unui element de explorare (latura egală cu înălțimea unei linii); semnalul este o succesiune de impulsuri aproximativ dreptunghiulare, câte un impuls la 2 elemente. Perioada unui impuls este $T_i = 2(T_l - \tau_{st}) / N_{e/linie}$. Numărul de elemente pe linie ($N_{e/linie}$) depinde de numărul de linii (N_{linii}) și de raportul dimensiunilor pe orizontală și verticală (obișnuit $H/V = 4/3$): $N_{e/linie} = N_{linii} H/V$. În norma CCIR PAL-B (Gerber): $N_{linii} = 625$, $T_l = 64\mu s$, durata impulsului sincro linii și ștergere $\tau_{st} = 11,5\mu s$, $H/V = 4/3$ și rezultă $T_i = [2(64 - 11,5)/625] \cdot (3/4)$ $T_i = 0,126 \mu s$, căreia îi corespunde frecvența $f_i = f_{videomax} = 7,936MHz$. O reproducere suficient de bună se obține acceptând unele distorsiuni la periferia ecranului, o reproducere mai puțin fidelă a detaliilor fine ale imaginii și ca urmare banda semnalului video poate fi redusă până la $f_{videomax} \approx 5MHz$

În principiu, în transmisiile TV de radiodifuziune terestră, sunetul poate fi transmis pe orice frecvență purtătoare. Pentru a se utiliza aceleași antene la emisie și la recepție și același bloc de RF la recepție, sunetul se transmite pe o subpurtătoare de RF apropiată de purtătoarea

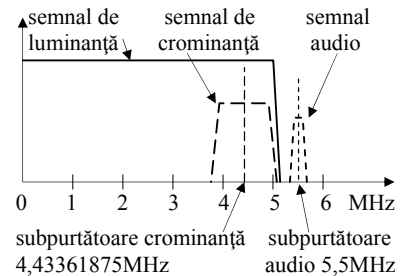


Fig. 2.6. Spectrul semnalului TV compozit (video complex și audio), norma CCIR PAL-B

de RF. În norma B, subpurătoarea de sunet este la 5,5MHz distanță de purătoarea de imagine – fig. 2.5. Sunetul se transmite cu modulație de frecvență, cu indice de modulație (β) maxim destul de mare (5 ... 10), deci semnalul de sunet ocupă o bandă de 150 ... 250kHz în jurul purătoarei de RF.

În concluzie, semnalul TV compozit – imagine și sunet ocupă banda **0 ... circa 6MHz** în norma CCIR PAL-B; în alte norme banda ajunge la circa 7MHz.

În *transmisiile TV de radiodifuziune terestră* se folosește o purătoare RF cu frecvența (f_{pi}) din FIF sau UIF care se modulează în amplitudine cu semnalul TV complex (luminanță și impulsuri sincro și stergere). Se folosește modulația negativă – cu nivelul de alb la minim de modulație și nivelul de negru la maxim de modulație – fig. 2.6.a; aceasta asigură o mai mare imunitate la zgomote, o mai redusă influență a neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor asupra semnalului video, o mai bună utilizare a dispozitivelor din ARF de putere.

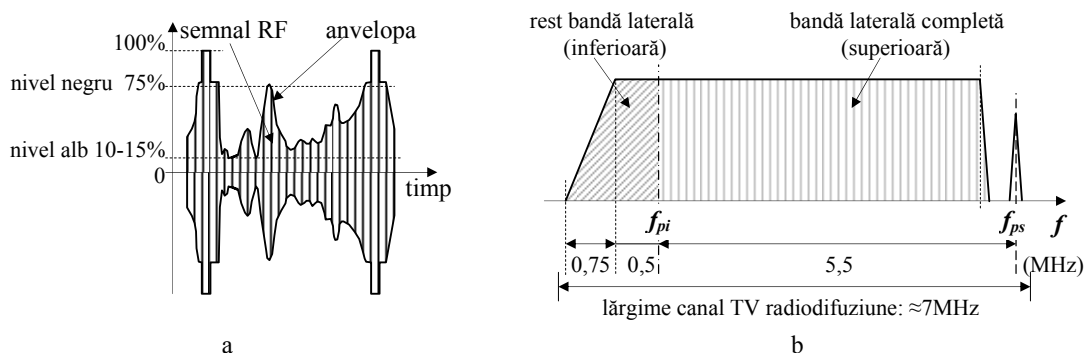


Fig. 2.6. Aspectul semnalului RF modulată în amplitudine cu semnal video complex (a) și ocuparea unui canal TV de radiodifuziune terestră (CCIR PAL-B)

Pentru reducerea benzii ocupate, prin filtrare se elimină o mare parte din banda laterală inferioară – fig. 2.6.b; semnalul transmis este de tip “MA cu rest de bandă laterală” – MA-RBL (AM-VSB – AM Vestigial Side Band).

Semnalul de sunet transmis cu MF pe o subpurătoare cu frecvența f_{ps} este introdus de regulă, în antenă, unde se sumează cu semnalul video.

Așadar, semnalul transmis este foarte complex, o combinație de MA-RBL (luminanță), cu MA în cuadratură (crominanța) și cu MF (sunet), pentru care se alocă o bandă (canal) de 7 ... 8MHz, în funcție de normă (7MHz în PAL-B, 8MHz în SECAM, 6MHz în NTSC-M).

În cazul *transmisiilor prin radiorelee și sateliți*, semnalele video complex și sunet se transmit pe canale separate, cu largimi de bandă diferite; în cazul transmisiilor audio stereofonice se folosesc două canale de sunet. Semnalele video și de sunet modulează în frecvență câte o purătoare de RF din domeniul UIF – partea de sus sau SIF. În cazul semnalului video, deviația maximă de frecvență (Δf_p) este de ordinul a 10MHz; frecvența maximă a semnalului fiind 5MHz, rezultă un indice de modulație maxim $\beta_{max} \approx 2$ deci este necesară o bandă de circa 30MHz. În echipamentul de recepție a emisiunilor TV de la sateliți, se obțin semnalele video și sunet în benzile de bază; cu aceste semnale se modulează purătoarele de RF ca și în cazul emițătoarelor TV de radiodifuziune terestre.

2.2.4. Semnale de date

Semnalele digitale care poartă informație utilă, se mai numesc și *semnale de date*.

În telecomunicații, semnalele digitale modulează semnale purtătoare de RF, care pot fi: sinusoidale sau impulsuri dreptunghiulare periodice. Înainte de a modula purtătoarea de RF, adesea semnalul de date este sub o formă numită *în banda de bază*. (De fapt orice semnal, analogic sau digital înainte de modularea purtătoarei, este numit *semnal în banda de bază*.) Termenul *bandă de bază* este util și folosit mai ales în sistemele cu multiplexare, când semnalele originale, analogice și/sau digitale sunt multiplexate obținând un semnal complex – semnalul în banda de bază, cu care se modulează purtătoarea. Caracteristic, semnalele în banda de bază au spectrul în apropierea originii (în jurul a 0Hz, cu sau fără componentă continuă).

Semnalul digital în banda de bază se obține prin codarea reprezentării numerice, care este deja în cod, de regulă binar. Există o mare diversitate a reprezentării fizice a semnalelor digitale, adică a codurilor în banda de bază pentru semnale digitale:

- coduri binare, cu 2 nivele semnificative, precum: RZ (Return to Zero), NRZ (Non Return to Zero) cu variante, Split Phase cu variante (Manchester, S, M), RB (Return to Bias) etc.
- coduri multinivel, cu 3 sau mai multe nivele semnificative;
- reprezentări (coduri) analogice, de exemplu cu funcții ($\sin x$)/ x cosinusoide ridicate etc.

În radiocomunicații, din motive de reducere a spectrului ocupat de semnal, cu foarte rare excepții, *purtătoarea* (semnalul care urmează a fi modulat) este sinusoidală. Uzual, termenul de *purtătoare* se referă la *semnalul emis*, care după modulare “pleacă” din antenă. Rareori acest semnal este cel direct modulat. De regulă, modularea se face la o frecvență mai joasă (de exemplu un semnal cu frecvență intermediară care este de fapt tot o “purtătoare” dar de obicei este numită *subpurtătoare*); semnalul modulat este apoi translat sau i se multiplică frecvența la valoarea de emisie. Mai mult, o purtătoare poate fi modulată analogic de mai multe *subpurtătoare*, fiecare modulată digital sau analogic.

Există numeroase tehnici de modulație digitală a purtătoarei: Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK), Biphase Shift Keying (BPSK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), Minimum Shift Keying (MSK), Quadrature Amplitude Modulation (QAM) și altele.

Spectrul, banda ocupată în RF, depinde de: viteza de transmisie și tipul modulației.

Viteza de transmisie se poate referi la numărul de biți sau la numărul de simboluri (care reprezintă unul sau mai mulți biți) transmise în 1s. Confuzia se poate elimina prin folosirea termenilor *viteză de bit (bit rate)* în **bit/s** și *viteză de simbol (symbol rate)* în **baud**. De exemplu, într-un cod de linie binar, fiecare bit este reprezentat printr-un simbol deci *viteza de bit (bit/s) = viteza de simbol (simbol/s)*; într-un cod de linie cu 4 nivele în care un nivel (simbol) reprezintă 2 biți: *viteza de bit (bit/s) = 2·viteza de simbol (simbol/s)*.

Ca regulă generală, cu cât viteza de transmisie este mai mare, cu atât banda ocupată este mai mare.

Transmisia datelor are avantaje, multe și esențiale, față de transmisiile analogice și în prezent se depun eforturi continue pentru implementarea acestor tehnici în toate sistemele de comunicație.

Un caz particular de transmisie de date îl constituie sistemul de transmisie *telegrafic* (telex). De fapt, telegraful a fost primul sistem electric de telecomunicații; inițial se folosea alfabetul Morse, acum se folosește codul Baudot care codifică alfabetul și cifrele cu un cod de 5 impulsuri/caracter. Semnalul telegrafic constă din impulsuri dreptunghiulare (de curent) unipolare (+/0) sau bipolare (+/-), cu frecvența 50Hz. Banda ocupată de semnalul telegrafic este foarte mică: $B = 1,6 \cdot v$; pentru $v = 50\text{Hz}$, rezultă $B = 80\text{Hz}$.

2.2.5. Nivele relative (dB, Np) și absolute (dBW, dBm, dBu).

Puterea, tensiunea, intensitatea unui curent electric, mărimi caracteristice ale unui *semnal electric*, pot fi exprimate în unități absolute – W (mW, μW), V (mV, μV), A (mA, μA), cifrele urmate de unitatea mărimii respective reprezentând *valoarea absolută* a puterii, tensiunii sau curentului.

Adesea este utilă reprezentarea *relativă* a valorii uneia dintre mărimile P , U , I , prin raportarea valorii absolute (P , U , I) dintr-un punct al circuitului sau în anumite condiții, față de o valoare de referință, din alt punct sau din anumite condiții de referință (P_0 , U_0 , I_0) sub forma:

$$N_P = P/P_0, \quad N_U = U/U_0, \quad N_I = I/I_0 \quad (\text{fracțiuni, \%, ppm}) \quad (2.2)$$

În cazul reprezentării relative a *puterilor* se folosește frecvent o exprimare în unități logaritmice: **decibel (dB)** sau **neper (Np)**, numită frecvent *nivel* sau *nivel relativ* sub formele:

$$N_{\text{dB}} = 10 \log \frac{P}{P_0} \text{ (dB)} \quad N_{\text{Np}} = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} \text{ (Np)} \quad (1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}; \quad 1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB}) \quad (2.3)$$

În dB sau Np se pot exprima și *nivele relative* (rapoarte) de *tensiune* sau *curenți*, sub formele:

$$N_{U(\text{dB})} = 20 \log(U/U_0), \quad N_{I(\text{dB})} = 20 \log(I/I_0) \quad (2.4)$$

$$N_{U(\text{Np})} = \ln(U/U_0), \quad N_{I(\text{Np})} = \ln(I/I_0)$$

Expresiile (2.4) provin din observația că, dacă puterile P și P_0 se disipă pe rezistențe egale $R = R_0$, și U , U_{ef0} , I_{ef} , și I_{ef0} fiind valori eficace ale tensiunii și curentului, atunci:

$$N_{P(\text{dB})} = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) = 10 \log \left(\frac{U_{ef}^2/R}{U_{ef0}^2/R_0} \right) = 20 \log \left(\frac{U_{ef}}{U_{ef0}} \right) \Big|_{R=R_0} = 20 \log \left(\frac{I_{ef}}{I_{ef0}} \right) \Big|_{R=R_0}$$

$$N_{P(\text{Np})} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{U_{ef}^2/R}{U_{ef0}^2/R_0} \right) = \ln \left(\frac{U_{ef}}{U_{ef0}} \right) \Big|_{R=R_0} = \ln \left(\frac{I_{ef}}{I_{ef0}} \right) \Big|_{R=R_0}$$

Subliniem că *egalitatea nivelelor relative ale puterii cu ale tensiunii și curentului există numai dacă sarcinile R și R_0 (pe care se disipă puterile) sunt egale.*

Exprimarea relativă a nivelelor de tensiune și curent se poate face și dacă rezistențele R și R_0 nu sunt egale, dar în acest caz egalitățile din (2.4) nu există. În adevăr, dacă $R \neq R_0$, rezultă:

$$N_{P(\text{dB})} = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) = 10 \log \left(\frac{U_{ef}^2/R}{U_{ef0}^2/R_0} \right) = 20 \log \left(\frac{U_{ef}}{U_{ef0}} \right) - 10 \log \left(\frac{R}{R_0} \right) \quad (2.5)$$

$$N_{P(\text{dB})} = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) = 10 \log \left(\frac{I_{ef}^2 R}{I_{ef0}^2 R_0} \right) = 20 \log \left(\frac{I_{ef}}{I_{ef0}} \right) + 10 \log \left(\frac{R}{R_0} \right)$$

$$N_{P(\text{dB})} = N_{U(\text{dB})} - 10 \log \left(\frac{R}{R_0} \right) = N_{I(\text{dB})} + 10 \log \left(\frac{R}{R_0} \right) \quad (2.6)$$

Observație. În relațiile de mai sus s-au considerat *valorile eficace* ale tensiunilor și curenților, relațiile fiind astfel valabile indiferent de semnal. Relațiile pot fi aplicate și pentru amplitudini numai dacă aceste sunt proporționale cu valorile eficace (semnale periodice).

Dacă se cunosc nivelele relative, valorile absolute pot fi determinate dacă se cunosc valorile de referință (P_0 , U_{ef0} , I_{ef0}) și eventual, sarcinile (R , R_0).

Exprimarea relativă a nivelelor este utilă și când mărimile (P , U , I) sunt cele de la ieșirea și intrarea circuitelor, în care caz nivelele relative au semnificația de *amplificare*, *câștig* sau *atenuare*, referință fiind mărimea de intrare; de exemplu:

$$A_{P(\text{dB})} = 10 \log(P_L/P_{IN}), \quad A_{U(\text{dB})} = 20 \log(U_L/U_{IN}), \quad A_{I(\text{dB})} = 20 \log(I_L/I_{IN}) \quad (2.7)$$

Deoarece de regulă sarcinile de intrare și ieșire diferă, în aceste cazuri amplificările în tensiune și curent nu sunt egale cu amplificarea în putere; între $A_{P(\text{dB})}$ și $A_{U(\text{dB})}$ și $A_{I(\text{dB})}$ există relațiile (2.6).

În unele cazuri puterea de referință (P_0) este stabilită convențional sau prin standarde și în acest caz nivelul exprimat logaritmice devine *nivel absolut*, iar din denumirea unității rezultă valoarea referinței. Puterea de referință (P_0) este stabilită la una din valorile: **1W**, **1mW**, **1μW**. Cu aceste referințe, nivelele relative se exprimă în unități logaritmice specifice: **dBW**, **dBm**, **dBu** sau **dBμ** (se citesc decibellwatt, decibellmiliwatt, decibellmicrowatt):

$$P_{(\text{dBW})} = 10 \log(P/1 \text{ W}) (\text{dBW})$$

$$P_{(\text{dBm})} = 10 \log(P/1 \text{ mW}) (\text{dBm}) \quad (2.8)$$

$$P_{(\text{dBu})} = 10 \log(P/1 \mu \text{ W}) (\text{dBu})$$

De exemplu: **0dBW** <--> **1W**, **0dBm** <--> **1mW**, **0dBu** <--> **1μW** etc.

În discuții în care apar atât nivele absolute în **dBm**, **dBu** cât și nivele relative în **dB**, pentru a le deosebi mai clar, se folosește uneori notația **dB_r** pentru nivelele relative.

Reprezentările logaritmice au trei avantaje: 1) înlocuiesc operațiile de înmulțire și de împărțire cu operații de adunare și scădere (de exemplu în cazul unui lanț de amplificatoare), 2) permit exprimarea unor numere foarte mari cu numere mici, 3) permit reprezentări grafice mai sugestive, adesea înlocuind curbe cu segmente de linii drepte (diagramele Bode sunt un exemplu).