

Mihai Băsoiu

DCC Casetofoane digitale



Colecția Radio – TV

MIHAI BĂȘOIU

DCC

CASETOFOANE DIGITALE



EDITURA TEHNICĂ
București, 1998

Copyright ©, 1997, Editura Tehnică
Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate editurii

**Adresă: Editura Tehnică
Piața Presei Libere 1
33 București, România
cod 71341**

Redactor: Mihaela Marian
Tehnoredactare computerizată: Mariana Gheorghiță
Desene: Mariana Gheorghiță; Cristina Baci
Coperta: graf. Simona Dumitrescu

Bun de tipar: 01.04.1998; Coli tipo: 5
C.Z.: 621.396
ISBN: 973-31-1162-7

Tipărit: *Semne*

\

INTRODUCERE

Fără nici un fel de dubiu, zilele tehnicilor analogice de înregistrare AF sunt numărate. Tehnica digitală a prelucrării sunetului (semnalelor de AF) a apărut la sfârșitul deceniului 8, întâi în domeniul profesional al prelucrărilor din studiouri și apoi, odată cu progresele tehnologiei electronice, a ajuns și pe piața bunurilor de larg consum.

Primul pas în domeniul audio digital pentru marele public s-a realizat prin lansarea compact discului (CD), care, practic într-un foarte scurt timp, a înlocuit pe piață discul convențional. Performanțele compact discului sunt, după cum se știe, net superioare celor ale discului convențional. În momentul când și costurile la utilizator au ajuns comparabile, evident că majoritatea cumpărătorilor s-a îndreptat spre CD.

O situație asemănătoare a apărut și în domeniul înregistrărilor AF pe bandă magnetică.

Prima variantă de înregistrare magnetică, cunoscută sub numele de DAT (*Digital Audio Tape* – înregistrare audio digitală pe bandă magnetică) folosește o tehnică complexă, care presupune un cap rotativ de înregistrare-redare. De aici apar o serie de asemănări cu tehnica VCR (*Video Cassette Recorder* – videocasetofon), prezentând evident și neajunsurile acestuia, în special în ceea ce privește complexitatea și gabaritul părții mecanice.

Marile companii electronice n-au putut însă neglija fenomenul „casetofon” de pe piața bunurilor de larg consum. Datorită simplității sale, a manevrabilității, cât și datorită faptului că poate fi realizat în variantă portabilă, casetofonul a ajuns la începutul anilor '90, poate cel mai răspândit (și vândut) aparat de redare AF. Din acest motiv, s-a căutat să se creeze varianta sa digitală. Cei care au realizat primii produsul, punând la punct atât principiul de funcționare cât și standardizarea prelucrării digitale și a elementelor fizice ale sistemului (aparatul de redare și caseta), au fost firmele Philips (Olanda) și Matsushita (Japonia). În urma unei colaborări de circa doi ani între specialiștii în domeniu ai celor două companii, în anul 1991 ele au putut anunța lansarea pe piață a DCC (*Digital Compact Cassette*), acest produs fiind echivalentul digital al casetofonului și al binecunoscutei casete analogice convenționale.

Ca în cazul tuturor produselor electronice de ultimă oră, pentru DCC nu există un termen românesc corespunzător. Din acest motiv, în lucrare, atât pentru

conceptul propriu-zis, cât și pentru aparatura corespunzătoare se va folosi termenul, mai bine zis, prescurtarea englezească deja consacrată (și acceptată) de marea majoritate atât a specialiștilor cât și a utilizatorilor: DCC (*Digital Compact Cassette* – casetă digitală compactă). În limba engleză se pronunță: di – si – si.

Întrucât produsul este relativ nou, el fiind lansat abia în 1991, răspândirea sa este relativ redusă, casetofonele convenționale (analogice) deținând supremația pieții de AF. Procesul de ocupare a pieții de AF de către DCC este însă în plină extindere în vest, iar specialiștii îi prevăd un viitor roz datorită câtorva motive, dintre care noi le enumerăm pe cele pe care le considerăm ca fiind cele mai importante (și mai convingătoare):

- marele public a început să fie mai pretențios cu privire la calitatea sunetului audiat, aceasta fiind și o consecință a mai largului său acces la surse AF de calitate (radiodifuziune digitală, sunet TV digital, CD, DAT, etc). În acest sens, numai tehnica digitală poate asigura cerințele crescute de calitate ale înregistrărilor magnetice;

- progresul tehnologic spectaculos al industriei electronice a făcut ca toată procesarea digitală să poată fi realizată cu ajutorul a numai câtorva circuite integrate cu grad foarte mare de integrare și în plus, chiar ieftine, ajungându-se în situația ca un aparat de înregistrare-redare DCC să nu fie semnificativ mai scump decât un casetofon clasic performant;

- păstrarea posibilității înregistrării redării analogice cu aparatură DCC face ca trecerea casetofon analogic – casetofon digital (DCC) să fie relativ blândă și astfel suportată mai ușor de către utilizatorul de aparatură convențională;

- industria înregistrărilor acustice s-a arătat din start interesată în dezvoltarea noii tehnici, trecând rapid la comercializarea casetelor compacte digitale cu înregistrări de ultimă oră;

- datorită utilizării tehnicii digitale, care presupune folosirea unor microprocesoare specializate, sau de uz general, aparatura DCC poate oferi utilizatorului o serie de facilități suplimentare față de cele oferite de casetofonul clasic, tentante și deloc de neglijat atunci când se ia hotărârea achiziționării unui sistem audio de către un potențial cumpărător.

Plecând de la considerentele enunțate mai sus, este de înțeles optimismul firmelor producătoare cu privire la viitorul DCC.

Datorită extraordinar de marii răspândiri actuale a casetofonului convențional, apreciem că cele două sisteme de casetofone (cel analogic și cel digital) vor conviețui încă un număr bun de ani în paralel pe piața bunurilor electronice de larg consum, însă varianta analogică va ceda definitiv locul variantei digitale, foarte probabil, la începutul secolului viitor.

CUPRINS

INTRODUCERE	5
1. GENERALITĂȚI	9
1.1 Ce este DCC ?	9
1.2 Performanțele DCC	10
1.3 Principalele caracteristici ale sistemului DCC	11
1.4. Funcționarea casetofonului digital	12
1.4.1 Schema bloc	13
1.4.2 Principalele blocuri funcționale ale casetofonului DCC	17
2. PRINCIPIILE PRELUCRĂRII DIGITALE A SEMNALELOR AF	17
2.1 Semnale analogice și semnale digitale	20
2.2 Conversia analogic – digitală	26
2.3 Conversia digital – analogică (DA)	29
3. PRINCIPIILE PROCESĂRII PASC	29
3.1 Caracteristica de audibilitate	31
3.2 Fazele procesării PASC	32
3.2.1 Conceptul de procesare PASC – echivalentul analogic	34
3.2.2 Compresia PASC a semnalelor digitale	40
3.3 Procesare PASC – recapitulare	42
4. PROCESAREA SEMNALELOR LA ÎNREGISTRARE	43
4.1 Semnale de intrare și semnale de ieșire	43
4.1.1 Semnalele de la intrarea casetofonului	44
4.1.2 Semnale utilizate la înregistrare	45
4.2 Conversia analogic – digitală	48
4.3 Prelucrarea PASC	48
4.4 Procesarea semnalelor pentru înregistrarea pe bandă magnetică	51
4.4.1 Codarea pentru asigurarea protecției semnalului înregistrat împotriva erorilor	52
4.4.2 Codarea ETM	54
4.4.3 Separarea semnalului AF pe 8 căi și aducerea sa la forma necesară la înregistrare	55

5 PROCESAREA SEMNALELOR AF DIGITALE LA REDARE	56
5.1 Procesarea semnalului de la „citire”	56
5.1.1 Citirea semnalelor înregistrate	56
5.1.2 Refacerea semnalului NRZI	58
5.1.3 Refacerea semnalului digital clasic	60
5.1.4 Decodarea ETM	62
5.1.5 Decodarea circ și corectarea erorilor	62
5.2 Decodarea PASC	65
5.3 Conversia digital – analogică	66
5.3.1 Filtrarea semnalelor AF și filtrele utilizate	66
5.3.2 Filtre digitale	68
6. PARTICULARITĂȚI TEHNICE ȘI TEHNOLOGICE ALE CASETOFOANELOR DIGITALE	72
6.1 Înregistrarea și poziționarea pistelor pe banda magnetică	72
6.2 Construcția capului magnetic	74
6.3 Caseta audio digitală – DCC	75
PRESCURTĂRI ÎN LIMBA ENGLEZĂ, UTILIZATE ÎN TEHNICA DCC	77
BIBLIOGRAFIE	79

1

GENERALITĂȚI

1.1 CE ESTE DCC ?

În vorbirea curentă, prin DCC se înțelege varianta digitală a casetofonului clasic, analogic. În limbaj tehnic, prin DCC se înțeleg mai multe lucruri, toate legate de înregistrarea magnetică a semnalelor AF digitale. Astfel:

a – DCC constituie termenul care definește conceptul care stă la baza sistemului de înregistrare AF digital pe bandă magnetică închisă într-o casetă compactă;

b – DCC este numit aparatul electronic de înregistrare și redare a semnalelor AF digitale, pe o casetă compactă (pe românește, aproximativ, „casetofon digital”);

c – DCC este prescurtarea expresiei englezești *Digital Compact Cassette* care definește strict caseta compactă digitală, propriu-zisă, ca obiect fizic.

Referindu-se la un același domeniu tehnic, înregistrarea magnetică a semnalelor AF pe casetă compactă, este evident că noțiunea cea mai generală, de concept tehnic DCC, le include pe celelalte două, fără ca în vorbirea uzuală să fie folosiți termeni diferiți pentru ele.

Prin acest concept este stabilit modul de prelucrare digitală a semnalelor AF atât la înregistrarea cât și la redarea casetei, procesarea fiind standardizată, pentru a se putea asigura compatibilitatea înregistrare-redare pe același aparat, cât și compatibilitatea între multitudinea de aparate de înregistrare și redare AF digital.

Caseta propriu-zisă este standardizată, are dimensiuni apropiate de cele ale casetei convenționale, analogice, însă are și câteva caracteristici asemănătoare cu cele ale casetelor video (depunerea benzii, folosirea unui căpăcel mobil de protejare a benzii, o serie de ghidaje mecanice pe suprafața exterioară etc.).

1.2 PERFORMANȚELE DCC

Deoarece considerăm cititorii deja acomodați cu performanțele aparaturii audio digitale, în tabelul 1.1 sunt date performanțele DCC în comparație cu celelalte două sisteme audio digitale aflate în exploatare, DAT și CD.

Tabelul 1.1

Performanțele DCC, DAT și CD

Nr.	Parametru (caracteristică)	DCC	DAT	CD
1	Nr. canale (câi)	2 (stereo)	2 (stereo)	2 (stereo)
2	frecvență AF / frecvență eşanționare	8Hz-22kHz/48kHz 5Hz-20kHz/44,1kHz 5Hz-14,5kHz/32kHz	8Hz-22kHz/48kHz 5Hz-20kHz/44,1kHz 5Hz-14,5kHz/32kHz	20Hz-20kHz/44,1kHz
3	Dinamică	> 105 dB	90...94 dB	>90 dB
4	THD (distorsiuni armonice totale)	< 0,0025%	<0,05%	<0,0022%
5	Fluctuații	cristal/ 10^{-8}	cristal/ 10^{-8}	cristal/ 10^{-8}
6	Caracteristici semnal			
6.1	Frecvență de eşanționare	48kHz/ 44,1 kHz/ 32kHz	48kHz/ 44,1kHz/ 32kHz	44,1kHz
6.2	Codare (compresie)	PASC	—	—
6.3	f-biți (tact semnal AF)	384 Kbiți/ s	2,46 Mbiți/ s	2,0338 Mbiți/ s
6.4	Metoda de corecție a erorilor	C1, C2 Reed Solomon	C1, C2 Reed Solomon	C1, C2 Reed Solomon
6.5	Tip de modulație	8 – 10/ETM	8 – 10/ETM	8 – 14/EFM
6.6	Preaccentuare	opțional	opțional	opțional
7	Caracteristici casetă			
7.1	Durată	D 90 : 45x2= 90 min D120 : 60x2=120 min	120 min	60...72 min
7.2	Tip bandă magnetică	crom	metal	—
7.3	Lățime bandă	3,78 mm	3,81 mm	—
7.4	Viteză liniară	4,76 cm/s	0,815 cm/s	—
7.5	Nr. și amplasare piste	9 piste paralele : 8 semnal AF + 1 aux	pistă elicoidală (VCR)	spirală pe disc (de la interior spre exterior)
7.6	Lățime pistă înregistrare	185 microni	2,613 microni	0,5 microni
7.7	Distanța între piste	195 microni	13,59 microni	1,6 microni

Așa cum reiese din tabel, performanțele celor trei sisteme de înregistrare digitală sunt relativ asemănătoare, toate utilizând o tehnologie electronică de „ultimă oră”. În afara performanțelor deosebite, în cazul înregistrărilor digitale mai trebuie subliniată încă o caracteristică importantă și anume conservarea foarte bună a înregistrării, care face ca scăderea calității sale în timp și la un număr mare de audieri să nu fie sesizabilă.

1.3 PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE SISTEMULUI DCC

Deși este relativ asemănător ca performanțe cu celelalte două sisteme digitale AF pentru marele public, DCC prezintă câteva caracteristici specifice, care, după părerea noastră, au contribuit și vor contribui în continuare la impunerea sa pe piața mondială:

a – Prezintă o anumită compatibilitate (totuși discutabilă) cu sistemele de înregistrare-redare pe casete analogice convenționale (casetofonul clasic). Astfel:

- Casetofoanele digitale (DCC) pot realiza înregistrări (redări) de semnale AF analogice, însă numai pe și de pe casete standard DCC.

- Mecanismele casetofoanelor DCC pot fi realizate prin modificarea relativ simplă a mecanismelor casetofoanelor analogice (este vorba de tehnologia de fabricație a casetei și aparatului de înregistrare-redare, lucru mai puțin important pentru utilizator).

- Cea mai mare parte a aparaturii de înregistrare profesională a casetelor analogice poate fi folosită la înregistrarea casetelor digitale, din acest punct de vedere industria înregistrărilor muzicale neavând de făcut decât investiții minore.

b – Utilizează soluții tehnice de ultimă oră, care asigură înregistrărilor DCC o calitate cel puțin egală cu cea CD, în ultima vreme considerată etalonul performanței de vârf în tehnica AF. Astfel:

- Folosește codarea PASC, ceea ce permite o compresie de 4/1 a semnalelor AF digitale, având la bază caracteristica acustică reală a urechii umane.

- Folosește o tehnică foarte sofisticată și eficientă de determinare și corectare a erorilor (C1, C2, Reed Solomon).

- Folosește înregistrarea semnalului digital simultan pe 8 piste longitudinale, ceea ce duce la o cantitate mare de informație în condiția păstrării unei viteze relativ reduse a benzii magnetice.

c – A adoptat o casetă care a preluat de la casetele analogice (audio și video) părțile pozitive. Astfel:

- Are dimensiuni relativ reduse, asemănătoare cu cele ale casetei audio, fiind astfel ușor de manevrat și de depozitat.

- Este prevăzută cu un capac mobil care asigură protecția benzii pe timpul manevrării (asemănător casetei video).

- Este prevăzută cu o serie de ghidaje care asigură informațiile necesare, la înregistrare sau/ și redare, cu privire la starea și performanțele sale (durată etc.).

- Permite atașarea unei etichete comerciale pe care pot fi înscrispionate o serie de informații (durată înregistrare, conținut casetă etc.).

d – Sistemul poate asigura o serie de facilități utilizatorului și poate fi intercalat în oricare sistem complex de AF, performant.

1.4. FUNCȚIONAREA CASETOFONULUI DIGITAL

Așa cum s-a menționat deja în introducere, produsul în sine a fost lansat destul de recent și este în curs de afirmare pe piața bunurilor de larg consum. Din acest motiv, în România nu are încă o denumire unanim acceptată. Cei care au auzit despre el – căci utilizatori sunt încă foarte puțini – și au cât de cât informații asupra modului de funcționare îi folosesc fie prescurtarea englezească, DCC, fie numirea englezească, „DCC Player”, fie numele românizat de „casetofon digital”, fie expresia mixtă „casetofon DCC”.

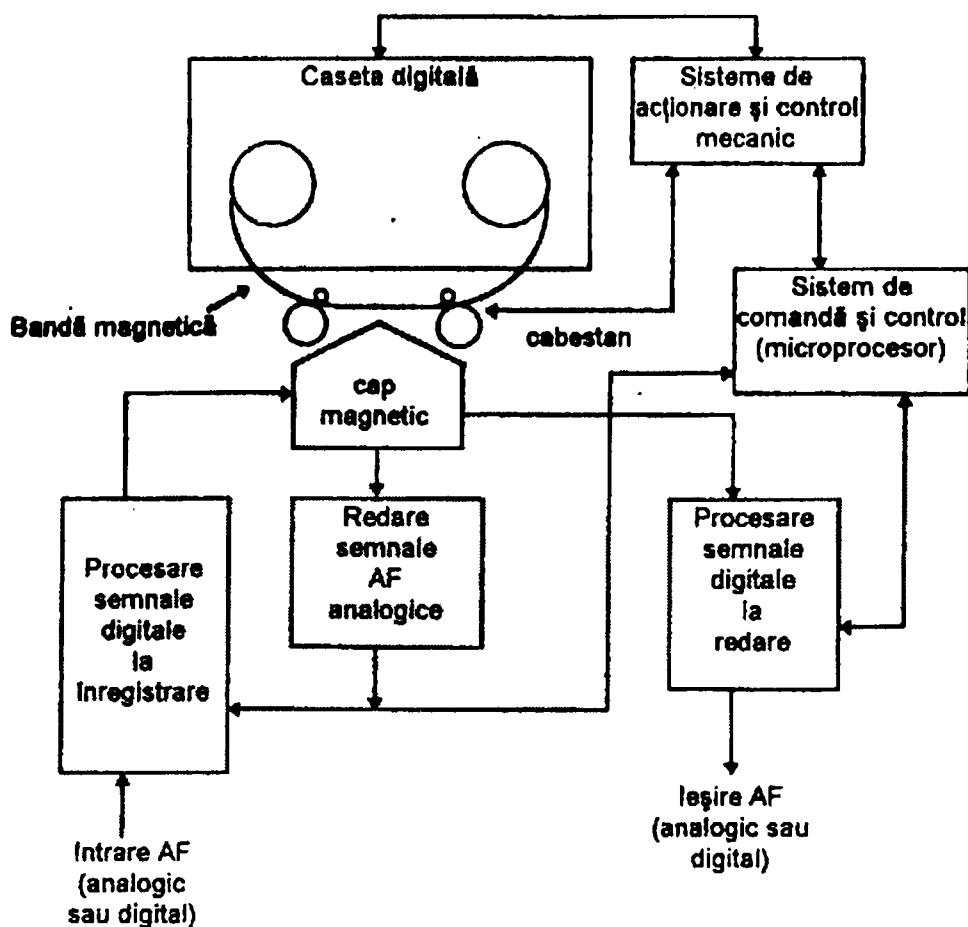


Fig .1.1 Schema bloc generală a casetofonului digital (DCC).

În cele ce urmează vom folosi nepreferențial toate aceste denumiri, prin ele înțelegându-se același lucru: un aparat de înregistrare/ redare audio, care folosește tehnica digitală și utilizează ca suport al înregistrării o bandă magnetică închisă într-o casetă compactă.

1.4.1 SCHEMA BLOC

Apariția recentă a principiului DCC, cât și a produselor respective, face ca diversitatea tipurilor existente pe piață să fie relativ redusă, schema bloc având de data aceasta calitatea de a corespunde majorității, dacă nu chiar totalității casetofonelor digitale comercializate actualmente.

Schema bloc cea mai generală a unui casetofon DCC este dată în figura 1.1. În ea sunt reprezentate numai cele mai importante blocuri funcționale ale

sistemului de înregistrare/ redare DCC, fără a lua în considerare blocurile funcționale care asigură facilitățile casetofonului, sau alte opțiuni neesențiale, din punctul nostru de vedere.

1.4.2 PRINCIPALELE BLOCURI FUNCȚIONALE ALE CASETOFONULUI DCC

Luând de bază schema bloc din figura 1.1 vom trece în revistă principalele funcțiuni ale blocurilor sale constructive.

a – Blocul de procesare a semnalelor digitale la înregistrare

Acest bloc funcțional cuprinde tot lanțul de circuite care asigură procesarea semnalelor de AF (analogice sau digitale) de la intrarea aparatului până la nivelul de semnale (digitale) aplicate capului magnetic de înregistrare.

La rândul său, blocul de procesare a semnalelor la înregistrare are o schemă bloc care îi detaliază funcțiunile. Aceasta este dată în figura 1.2.

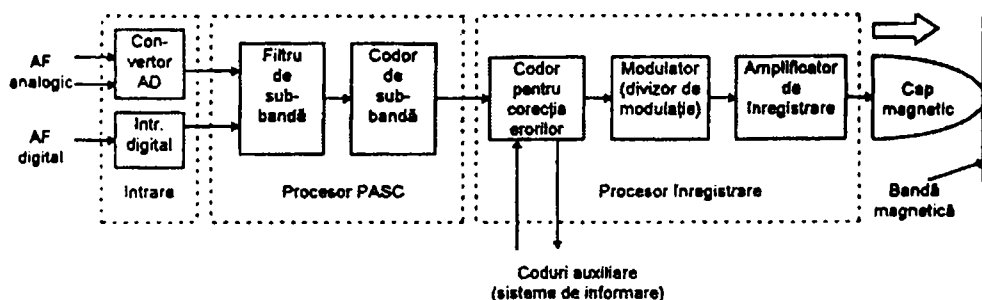


Fig. 1.2 Schema bloc a sistemului de procesare a semnalelor la înregistrare.

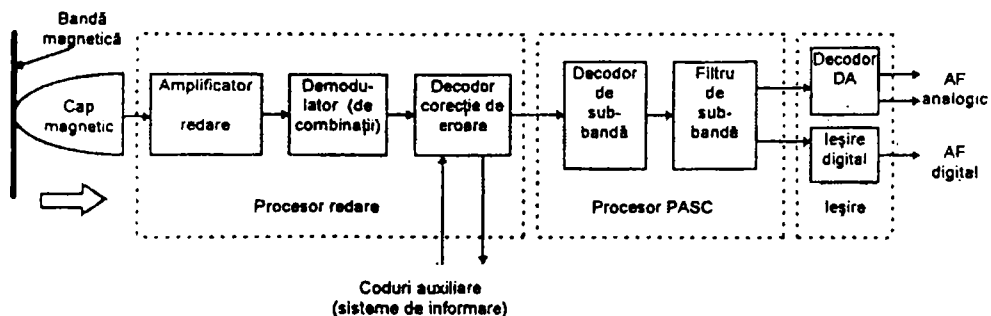


Fig. 1.3 Schema bloc a sistemului de procesare a semnalelor la redare.

Primul etaj de procesare a semnalelor AF este prevăzut cu două intrări, fiecare corespunzătoare tipului de semnale AF aplicat :

– o intrare pentru semnalele AF digitale compatibile cu semnalul digital folosit în casetofoanele DCC, care transferă (neprelucrat) semnalul etajelor următoare;

– o intrare pentru semnalele AF analogice (clasice), care prin intermediul unui convertor AD transformă semnalul analogic în semnal AF digital. Indiferent deci de tipul semnalului de la intrarea casetofonului, la ieșirea etajului de intrare AF se asigură un semnal digital standard.

În continuare (vezi figura 1.2), semnalele digitale sunt transmise procesorului PASC (*Precision Adaptive Sub-band Coding* / codare adaptivă, de precizie, pe subbenzi). Rolul principal al acestui codor este compresia semnalului digital în raport 4/1, fără a afecta calitatea înregistrării. Explicarea principiului procesării PASC este dată în capitolul 3.

Semnalul AF digital procesat PASC (comprimat) este aplicat în continuare etajelor de procesare pentru înregistrare. În aceste etaje, semnalele AF digitale suferă o serie de prelucrări necesare protecției la perturbații, de corectare a erorilor posibile, adăugare de semnale de sincronizare etc.

Rezultatul va fi o succesiune de semnale digitale organizate în blocuri/ cadre/ secvențe/ grupări, care conțin atât informația AF digitală, comprimată PASC, cât și o serie de alte informații (sincro, protecție erori etc.), necesare la redare.

Aceste semnale sunt aplicate capului de înregistrare, care le depune pe banda magnetică pe 9 piste paralele, 8 cu semnal AF și una cu semnal auxiliar (în special destinat sincronizării).

Asupra prelucrărilor semnalelor AF digitale din aceste etaje vom reveni în capitolul 4.

b – Blocul de procesare a semnalelor digitale AF, la redare

Acest bloc funcțional cuprinde tot lanțul de circuite care asigură procesarea semnalelor AF digitale, culese de capul de redare de pe banda magnetică, până ce sunt aduse la forma inițială de semnale AF analogice.

Schema bloc de principiu a lanțului de prelucrare a semnalelor la redare este dată în figura 1.3.

Semnalul AF digital este cules de către capul magnetic de pe banda magnetică (8 piste cu semnal AF și o pistă cu semnale auxiliare de sincronizare).

În continuare, semnalul este aplicat lanțului de procesare la redare, complementar lanțului de procesare la înregistrare. În principal semnalul este amplificat, demodulat și corectat (detectarea și eliminarea erorilor). Procesarea continuă cu decodarea PASC (expandare în raport 1/4), apoi este transmis la etajele de ieșire, care-l pot livra fie sub formă de semnal digital original, fie sub formă de semnal AF analogic (după ce a fost convertit corespunzător într-un convertor DA).

La ieșire, ca și la intrare, sunt livrate semnale AF în două variante: semnale analogice sau semnale digitale.

Menționăm încă odată, că prelucrarea semnalelor la redare este inversa prelucrării de la înregistrare, fiecare etaj al lanțului de prelucrare de la înregistrare avându-și corespondentul (complementarul) în lanțul de prelucrare de la redare.

Asupra amănuntelor procesării semnalelor la înregistrare și/sau redare se va reveni în capitolele 4 și 5.

c – Blocul de redare a semnalelor AF analogice

Acest bloc funcțional este absolut identic cu blocurile de înregistrare / redare din casetofoanele AF analogice, clasice. În mod normal, această facilități este foarte puțin folosită de către utilizatorii de DCC, ea neavând sens în contextul în care înregistrarea cu semnal digital este superioară calitativ înregistrării cu semnal analogic. Totuși, pentru orice eventualitate, unele casetofoane DCC, mai ales cele din prima generație, au fost prevăzute cu această facilități, a redării în AF analogic, (de multe ori, numai cu partea de redare).

Menționăm că în mod eronat s-a înțeles uneori că o casetă DCC este compatibilă cu o casetă clasică. Compatibilitatea există numai în ceea ce privește semnalul AF analogic. Pe variantele constructive actuale de casetofoane digitale, o casetă audio clasică nu poate fi audiată decât dacă respectivul aparat este prevăzut cu un bloc funcțional distinct, care asigură toate funcțiunile unui casetofon clasic. Altfel spus, casetofonul digital trebuie să fie dublat de un casetofon analogic. De asemenea, o casetă digitală, chiar înregistrată analogic, nu poate fi audiată pe un casetofon analogic clasic, în primul rând datorită diferențelor constructive ale casetelor propriu-zise, care le face să fie incompatibile mecanic.

Întrucât, din punctul nostru de vedere acest bloc funcțional nu prezintă interes, nu vom mai reveni asupra lui.

d – Sisteme de acționare și control mecanic

Sub această denumire înțelegem toate mecanismele care asigură minimum de funcțiuni mecanice necesare funcționării unui casetofon DCC. Trebuie menționat că modul de funcționare al mecanismelor unui casetofon DCC este ceva mai complex decât cel de la casetofoanele clasice, acest lucru datorându-se în special construcției casetei digitale, de complexitate apropiată de cea a casetei video.

Funcțiunile mecanice minime pe care trebuie să le asigure casetofonul DCC sunt :

- încărcarea/descărcarea casetei;
- asigurarea poziționării corecte a benzii față de capete;
- deplasarea benzii prin fața capului magnetic, cu o viteză liniară riguros controlată, atât la înregistrare, cât și la redare;
- rularea benzii magnetice cu viteză mare, în ambele sensuri;
- alte deplasări ale benzii, sau chiar ale casetei, impuse de facilitățile casetofonului.

e – Sistem de comandă și control asistat de microprocesor

Principiul DCC, bazat numai pe semnale digitale, se pretează și chiar impune existența unui sistem de control cu microprocesor. Acesta controlează toate comenzile date casetofonului (prin telecomandă sau de la tastatură) și controlează funcționarea tuturor blocurilor funcționale ale casetofonului.

Astfel:

- controlează procesarea semnalelor AF atât la înregistrare cât și la redare;
- controlează viteza benzii magnetice;
- controlează succesiunea logică a operațiilor comandate de către utilizator;
- etc.

Într-un cuvânt, microprocesorul este informat și asistă toate fazele de operare ale casetofonului DCC.

f – Caseta digitală

Caseta digitală (compactă) – DCC – este suportul material al înregistrării magnetice, cu care vine în contact utilizatorul. Este de dimensiuni comparabile cu caseta audio clasică, însă are câteva elemente constructive „împrumutate” de la caseta video (capac de protecție bandă magnetică, găuri de ghidaj/ control etc.).

Durata înregistrării (pe ambele sensuri) poate atinge 2 ore. Variantele uzuale sunt: 2 x 45 minute, sau 2 x 60 minute. Asupra calității înregistrării nu mai revenim, ea fiind net superioară oricărei variante analogice clasice.

În capitolul 6 sunt date o serie de amănunte tehnico-constructive cu privire la caseta digitală propriu zisă.

PRINCIPIILE PRELUCRĂRII DIGITALE A SEMNALELOR AF

2.1 SEMNALE ANALOGICE ȘI SEMNALE DIGITALE

Deși presupunem că majoritatea cititorilor este deja la curent cu noțiunile de semnal analogic și semnal digital, revenim cu câteva precizări, în intenția de a reaminti sau de a ordona anumite lucruri deja știute.

Prin *semnal analogic* se înțelege semnalul cu variație continuă atât în timp, cât și ca valoare. În figura 2.1 este dat ca exemplu un astfel de semnal. Din figură reiese că pe o perioadă de timp cuprinsă între momentele t_1 și t_2 , presupusă ca fiind cea care interesează, semnalul ia valori cuprinse între A_{min} și A_{max} , fără salturi ale valorilor sale. Acest mod de variație este cunoscut sub numele de variație continuă. Numărul valorilor pe care le poate lua semnalul între cele două valori limită este teoretic infinit, iar în practică este limitat de numărul de cifre (digiți) folosit pentru exprimarea lor.

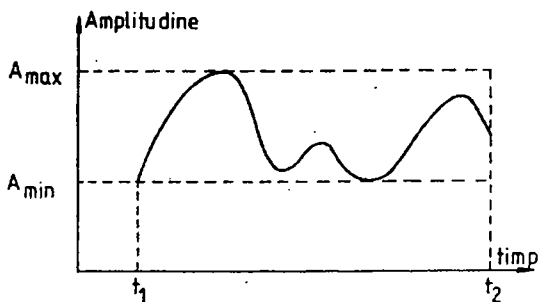


Fig.2.1 Exemplu de semnal analogic.

Prin *semnal digital* se înțelege un semnal discret atât în timp cât și ca număr de valori. Pentru a se înțelege mai bine această dublă discretizare, în figura 2.2 este reprezentată trecerea de la semnalul analogic la semnalul digital.

Prima fază, discretizarea în timp, sau eșantionarea, este realizată prin stabilirea valorii semnalului în anumite momente bine determinate. În exemplul din figura 2.2,a, semnalul analogic inițial are 8 momente de discretizare (eșantionare), notate $t_0 \dots t_7$.

Valoarea semnalului în fiecare dintre aceste momente reprezintă valoarea eșantionului respectiv, care se păstrează până la următoarea eșantionare. Deci, valoarea eșantionului de la momentul t_0 se păstrează până la momentul t_1 . Valoarea eșantionului de la momentul t_1 se păstrează până la momentul t_2 , și așa mai departe.

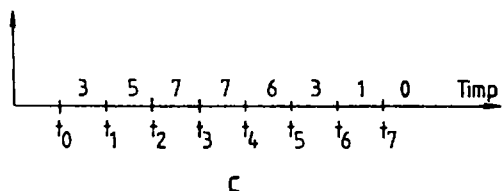
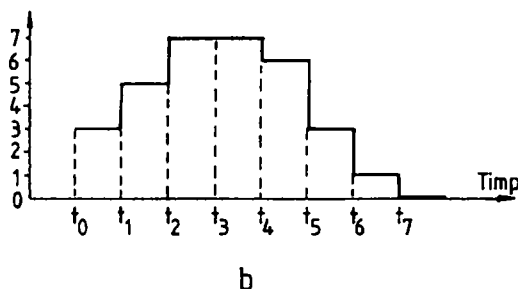
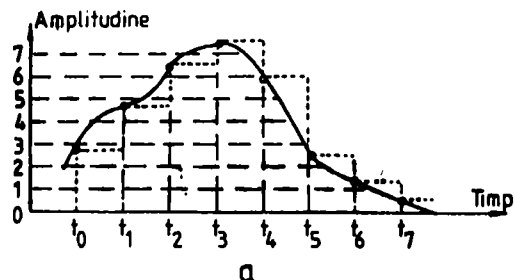


Fig.2.2 Semnal digital:

a) discretizarea în timp (eșantionare); b) discretizarea în valoare (cuantizare); c) forma numerică.

Sistemul prezintă avantajul că se pretează la prelucrări ulterioare de tip logic, „unu” având semnificația „da”, de existență a unui semnal electric, sub formă de impuls, iar „zero” semnificând „nu” – lipsa semnalului.

Elementul de bază al codărilor binare este, numit „bit”, prescurtarea expresiei din limba engleză „binary digit” (cifră binară, cifră în baza doi).

Revenind la modul de exprimare binară a valorilor eșantioanelor, este clar că pentru a avea o scară cât mai mare de valori pentru eșantioane, la exprimarea lor trebuie utilizați cât mai mulți biți, numărul de valori distincte exprimate cu n biți, fiind 2^n . De exemplu :

- cu 1 bit pot fi exprimate două valori (două combinații): $2^1 = 2$: 0, 1;
- cu 2 biți pot fi realizate patru combinații : $2^2 = 4$: 00, 01, 10, 11;
- cu 3 biți pot fi realizate opt combinații : $2^3 = 8$: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111;

Următoarea discretizare este cea a valorilor semnalului. În cazul semnalului digital, scara de valori este finită. În exemplul dat, s-a acceptat un număr de valori ale semnalului limitat la 8 (cuprins între 0 și 7). În consecință, fiecărui eșantion i s-a acordat o valoare cuprinsă între 0 și 7, cea mai apropiată de valoarea reală. Rezultatul este reprezentat în figura 2.2,b. Operațiunea de atribuire a unei valori (într-o gamă limitată și după un anumit criteriu) fiecărui eșantion, este cunoscută sub numele de cuantizare (sau cuantificare) a semnalului.

Același semnal digital reprezentat în figura 2.2,b poate fi exprimat și ca o succesiune de valori numerice, corespunzătoare valorii eșantionului (cuantificat), pe durata dintre două eșantionări. Situația este reprezentată în figura 2.2,c.

Pentru exprimarea valorilor eșantioanelor, în tehnica digitală sunt folosite expresii în cod binar. Acest cod folosește sistemul de numerație în baza 2, care utilizează numai două cifre: „zero” și „unu”.

– cu 16 biți pot fi exprimate $2^{16} = 65\,536$ combinații, deci tot atâtea valori distincte etc.

În cazul concret din exemplul din figura 2.2, în care numărul de valori discrete ale nivelului semnalului este 8, acestea pot fi exprimate cu ajutorul a 3 biți.

Exprimând valorile eșantioanelor ca sumă de puteri ale lui 2, valorilor numerice zecimale ale eșantioanelor le corespund codurile binare din tabelul 2.1, care nu sunt altceva decât aceleași valori exprimate în baza de numerație 2.

Dacă în continuare, se acceptă ideea că valorile eșantionului reprezentate în cod binar sunt materializate printr-o succesiune de impulsuri, la care „unu” este reprezentat de un impuls de o anumită valoare, iar „zero”, de lipsa semnalului, rezultă că pe durata perioadei de eșantionare (dintre două eșantionări) trebuie transmisă valoarea eșantionului precedent. În figura 2.3 este dată forma semnalului din figura 2.2, exprimat în cod binar conform convenției enunțate mai sus.

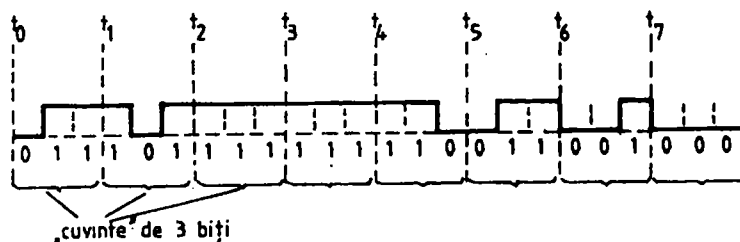


Fig.2.3 Semnal digital exprimat în „cuvinte” de câte trei biți.

Tabelul 2.1

Eșantion	Valoare zecimală	Cod binar
1 ($t_0...t_1$)	$3=2^1+2^0$	011
2 ($t_1...t_2$)	$5=2^2+2^0$	101
3 ($t_2...t_3$)	$7=2^2+2^1+2^0$	111
4 ($t_3...t_4$)	$7=2^2+2^1+2^0$	111
5 ($t_4...t_5$)	$6=2^2+2^1$	110
6 ($t_5...t_6$)	$3=2^1+2^0$	011
7 ($t_6...t_7$)	$1=2^0$	001
8 ($t_7...t_8$)	$0=0$	000

Cu cât numărul biților folosiți pentru exprimarea valorilor eșantioanelor este mai mare, cu atât precizia este mai bună, dinamica semnalului digital mai mare, iar zgomotul de prelucrare este mai mic. Ca totdeauna, există și un revers al medaliei. Creșterii numărului de biți îi corespunde o creștere semnificativă a frecvenței biților, deci probleme suplimentare la procesarea datelor digitale.

În general în tehnica digitală AF, pentru exprimarea valorii eșantioanelor, sunt folosiți 16 biți, deci numărul de valori distincte este de 65 536, ceea ce corespunde unei dinamici a sistemului, de peste 90 dB.

2.2 CONVERSIA ANALOGIC – DIGITALĂ

În natură în general, și în cazul domeniului AF în special, se întâlnesc aproape numai semnale de tip analogic. Din acestea, prin prelucrări se pot obține semnalele digitale, a căror procesare formează subiectul lucrării de față.

Transformarea semnalelor analogice în semnale digitale este una dintre operațiile de bază ale tehnicii DCC și condiționează strict asigurarea calității înregistrării audio. Așa cum s-a menționat deja la paragraful precedent, trecerea de la semnalul analogic continuu în timp și ca amplitudine, la semnalul digital discret (în timp și valoare) se face în două etape :

- eșantionare (discretizare în timp);
- cuantizare (discretizare în amplitudine).

a. Eșantionarea

Prin eșantionare se înțelege procesul de stabilire și memorare a valorilor semnalului analogic (AF, în acest caz) în anumite momente bine determinate.

Deoarece eșantionarea are un caracter repetitiv, acestei procesări i se pot asocia două mărimi fizice: perioada de eșantionare, T_s (durata de timp între două eșantionări), respectiv, inversa ei, frecvența de eșantionare, f_s .

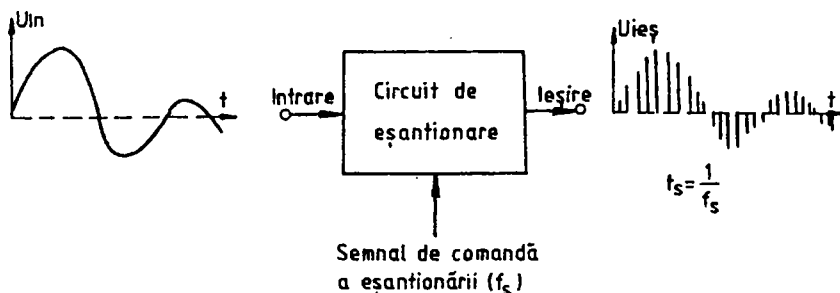


Fig.2.4 Eșantionarea unui semnal analogic.

În figura 2.4 este reprezentat schematic procesul de eșantionare. La intrarea circuitului de eșantionare (*sampling circuit*, în limba engleză) se aplică semnalul analogic. Cu o perioadă T_s (sau cu frecvența f_s) are loc eșantionarea semnalului. La ieșire rezultă o succesiune de semnale discrete care nu sunt altceva decât eșantioanele respective. Acest tip de semnal (de ieșire) se caracterizează prin aceea că are valori bine determinate numai pentru momentul eșantionării, nedând nici o indicație asupra variației semnalului între două eșantionări. Din acest motiv, reiese (chiar la nivel de bun simț) că precizia aproximării semnalului analogic este funcție de frecvența de eșantionare și că aceasta trebuie să fie cât mai mare, pentru ca rezultatele conversiei analogic-digitală, cât și prelucrările ulterioare ale semnalelor să fie cât mai bune (mai performante). Problema a fost pusă și rezolvată și teoretic, concluzia fiind că frecvența de eșantionare trebuie să fie de cel puțin două ori mai mare decât frecvența maximă a semnalului analogic eșantionat. Condiția este cunoscută în literatura de specialitate sub numele de „criteriul de eșantionare al lui Nyquist”.

În cazul prelucrării digitale AF (vezi tabelul 1.1, liniile 2 și 6.1), această condiție este îndeplinită de toate cele trei sisteme audio digitale, pentru marele public.

În cazul expres al tehnicii DCC, pentru varianta cea mai performantă, cu frecvența audio maximă de 22 000 kHz, frecvența de eșantionare este de 48 kHz, iar pentru varianta la care frecvența audio maximă este 20 000 kHz, frecvența de eșantionare este de 44,1 kHz, situație identică celei întâlnite în cazul CD.

Circuitul care realizează operația de eșantionare este cunoscut sub numele de „circuit de eșantionare și memorare” (*sample & hold circuit*, în limba engleză). Schema sa de principiu, într-o variantă foarte simplificată, este dată în figura 2.5.

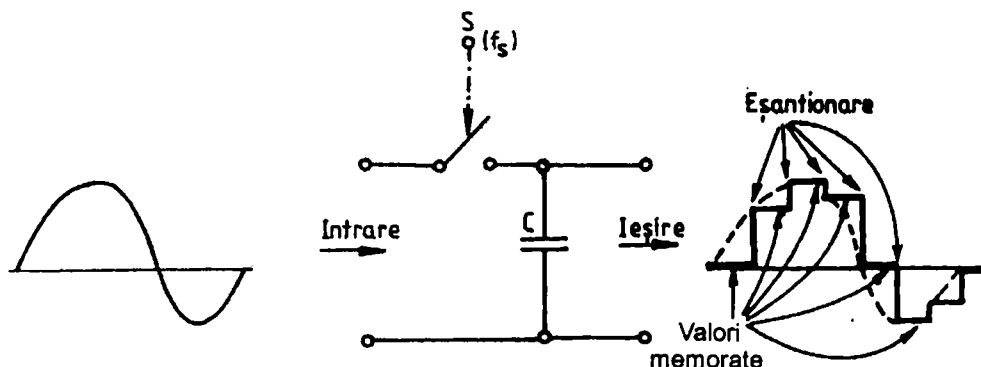


Fig.2.5 Circuit de eșantionare – memorare.

La intrare i se aplică un semnal analogic. Cu frecvența f_s (periodicitate T_s), comutatorul S este închis pentru o perioadă extrem de scurtă de timp. Închiderea sa reprezintă momentul eșantionării. În acel moment, valoarea semnalului de la intrare (tensiunea de intrare) este transmisă la ieșire și în același timp încarcă un condensator, C , conectat în paralel cu ieșirea. Condensatorul reprezintă memoria circuitului, el păstrând la bornele de ieșire valoarea eșantionului (tensiunea la care a fost încărcat), până la următoarea închidere a comutatorului S (tot pentru un timp foarte scurt). În acel moment, la ieșire este transmisă valoarea noului eșantion și memorată până la următoarea eșantionare ș.a.m.d. Acest tip de circuit stă la baza funcționării convertorului analogic-digital și este folosit ca principiu și în convertorul digital-analogic, de refacere a semnalului analogic AF.

În legătură cu această operațiune mai trebuie subliniat faptul că, în realitate, prelucrarea semnalelor atrage după sine o serie de deformări (distorsionări), ale semnalului util, datorate în special următoarelor două cauze:

- apropierea dintre spectrul semnalului util și spectrul semnalului perturbator, datorat procesării de eșantionare;
- apariția unor semnale perturbatoare, consecință a fenomenelor tranzitorii de la eșantionare.

Aceste perturbații impun utilizarea unor filtre de separare de tip „trece jos” de foarte mare eficiență. În tehnica DCC, ca și în celelalte sisteme digitale de înregistrare a sunetelor (DAT și CD), problema filtrajului se rezolvă prin folosirea a trei tipuri de filtre „trece jos”, fiecare cu particularitățile sale :

– filtre pasive cu 7 până la 9 secțiuni. Neajunsul acestor filtre constă atât în complexitatea lor constructivă, cât și în faptul că fiind neliniare și necesitând o pantă foarte mare a caracteristicii de selectivitate, introduc distorsiuni de fază ale semnalului;

– filtre active, care sunt mai eficiente, însă au câteva dezavantaje, dintre care le menționăm pe cele mai importante: necesită o tehnologie de realizare foarte riguroasă, deci și costuri ridicate și introduc zgomot suplimentar pe semnal;

– filtre digitale, care, deși extrem de complexe, sunt preferate în ultima vreme datorită performanțelor lor excelente și a faptului că sunt realizate integrat, eliminându-se astfel dificultățile tehnologice ulterioare, din timpul fabricării aparaturii de înregistrare-redare.

b. Cuantizarea

Cuantizarea (*quantification*, în limba engleză), reprezintă cea de a doua operațiune de discretizare a semnalului analogic, și anume, discretizarea nivelului (amplitudinii). Operațiunea constă în atribuirea unei valori bine determinate fiecărui eșantion.

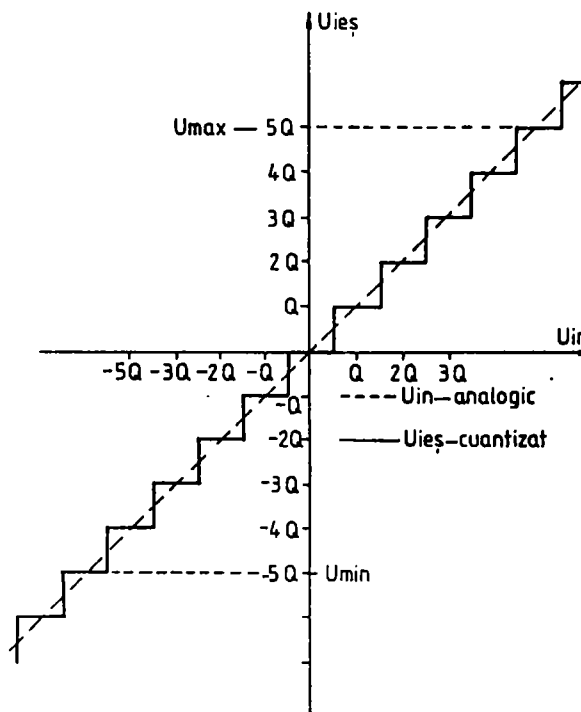


Fig.2.6 Principiul cuantizării nivelelor de semnal.

Spre deosebire de semnalele analogice a căror mărime (amplitudine), la un moment dat poate fi exprimată cu o precizie foarte mare, deci cu un număr mare de cifre, valoarea semnalelor digitale (a eșantionului) este exprimată printr-un număr finit de valori, dintr-o gamă predeterminată. Valorile gamei sunt diferite între ele cu o anumită mărime, numită „cuantă” sau „treaptă de cuantizare”.

Principiul cuantizării este redat în figura 2.6, unde cu Q s-a notat treapta de cuantizare (cuanta). Așa cum reiese din figură, semnalelor analogice cuprinse într-o plajă de valori li se atribuie o valoare digitală bine determinată, cuprinsă într-o gamă limitată de valori posibile. Astfel:

- tuturor semnalelor de la intrare al căror nivel este cuprins între $-0,5 Q$ și $+0,5 Q$, li se atribuie la ieșire valoarea 0;
- semnalelor al căror nivel la intrare este cuprins între $+0,5 Q$ și $1,5 Q$, li se atribuie la ieșire valoarea 1 Q ;
- semnalelor al căror nivel la intrare este cuprins între $1,5 Q$ și $2,5 Q$, li se atribuie la ieșire, valoarea 2 Q ;
- etc.

Extinderea corespondenței semnal analogic de intrare – semnal digital de ieșire (cuantizat) se poate face pentru toată plaja de valori digitale predeterminate, care, așa cum s-a menționat deja, sunt în număr finit.

Numărul nivelurilor de cuantizare este determinat de numărul biților care exprimă valoarea eșantionului. În acest caz și reciprocă este valabilă, numărul biților utilizați determinând numărul nivelurilor de cuantizare.

Pentru a înțelege mai bine fenomenul, în figura 2.7 se dă un exemplu practic de cuantizare a unui semnal de amplitudine $0,7 \text{ V}$ (vârf la vârf), care este cuantizat în 8 niveluri cu treapta de $0,1 \text{ V}$.

Cele 8 niveluri de cuantizare sunt exprimate digital cu ajutorul a 3 biți ($2^3=8$). Cele 8 valori discrete sunt reprezentate în partea dreaptă a figurii, fiecărei cuante (treaptă de nivel), corespunzându-i un salt de o unitate digitală. Exprimarea digitală a nivelurilor eșantioanelor (cuantizarea) se poate face în două moduri:

– **Exprimare asimetrică.** Aceasta se caracterizează prin faptul că semnalul analogic este poziționat asimetric față de axa de referință, el putând lua fie numai valori pozitive, fie numai valori negative. În practică, uzual se folosește aproape numai cazul în care semnalul ia doar valori pozitive (referință zero).

În figura 2.8,a este dat un exemplu care ilustrează situația. Gama de valori pe care le poate lua semnalul analogic este cuprinsă între 0 și A_{max} . Numărul nivelurilor de cuantizare este 8, iar valorile respective pot fi exprimate cu ajutorul a 3 biți.

Din figură reiese modul în care din semnalul analogic, prin intermediul caracteristicii de cuantizare, se determină semnalul digital. Cele 8 niveluri de cuantizare sunt notate de la 0 la 7 și în exemplul din figură, în care valorile eșantioanelor sunt exprimate digital cu ajutorul a 3 biți, plaja de valori (digitale) este cuprinsă între 000 și 111.

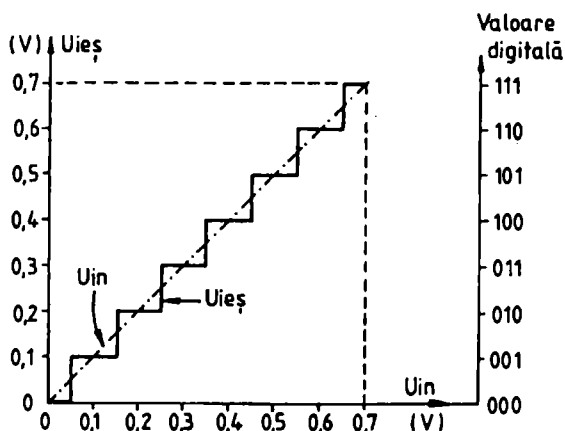


Fig.2.7 Exemplu practic de cuantizare cu 8 niveluri.

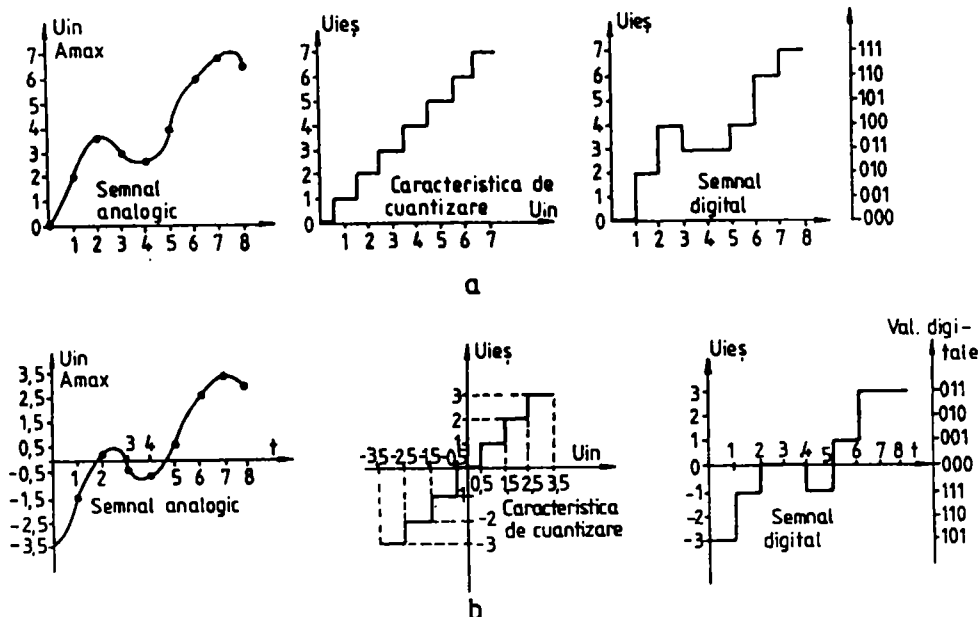


Fig.2.8 Moduri de cuantizare:
a) asimetrică; b) simetrică.

Tabelul 2.2

Valoare zecimală	Valoare digitală
0	0 000 000 000 000 000
1	0 000 000 000 000 001
2	0 000 000 000 000 010
3	0 000 000 000 000 011
.....
65 534	1 111 111 111 111 110
65 535	1 111 111 111 111 111

În practica sistemelor AF digitale, pentru exprimarea nivelurilor eșantioanelor sunt folosiți 16 biți. În acest caz, numărul nivelurilor valorilor digitale este de 65 536 (2^{16}). Valorile eșantioanelor vor fi cuprinse deci între 0 și 65 536 și pot fi exprimate digital conform tabelului 2.2.

– **Exprimare simetrică.** Acest mod de exprimare este mai apropiat de sensul fizic al semnalelor AF, care iau valori într-o plajă simetrică față de axa zero. Numărul de valori atribuite pentru exprimarea nivelurilor de cuantizare este același ca și în cazul exprimării asimetrice, numai că modul lor de atribuire diferă.

Valorile digitale (exprimarea binară) corespunzătoare valorilor pozitive ale semnalului se atribuie ca în cazul exprimării asimetrice, iar valorile digitale (în cod binar) corespunzătoare valorilor negative ale semnalului se obțin prin determinarea complementului expresiei care dă valoarea semnalului pozitiv de aceeași amplitudine. Deci, pentru a exprima valoarea semnalului negativ, se pleacă de la expresia digitală care dă valoarea semnalului pozitiv de aceeași amplitudine și se schimbă valoarea biților din 1 în 0, și invers. În final, se adaugă 1 la cel mai puțin semnificativ bit (LSB – ultimul bit al expresiei digitale).

Tabelul 2.3

Valoare zecimală	Valoare digitală (complement)
+ 32 767	0 111 111 111 111 111
+ 32 766	0 111 111 111 111 110
+ 32 765	0 111 111 111 111 101
.....
+3	0 000 000 000 000 011
+2	0 000 000 000 000 010
+1	0 000 000 000 000 001
0	0 000 000 000 000 000
-1	1 111 111 111 111 111
-2	1 111 111 111 111 110
-3	1 111 111 111 111 101
-4	1 111 111 111 111 100
.....
-32 766	1 000 000 000 000 010
-32 767	1 000 000 000 000 001
-32 768	1 000 000 000 000 000

Această metodă de atribuire a valorilor digitale pentru semnalele negative este cunoscută în literatura de specialitate sub numele de „metoda complementului”, sau „metoda complementului față de 2”, de la expresia din limba engleză, 2's complement.

Pentru exemplificare, în figura 2.8,b este dat un exemplu de cuantizare a nivelurilor semnalului digital prin metoda complementului (exprimare simetrică). Plecând de la un semnal analogic asemănător cu cel din figura 2.8,a și utilizând o caracteristică de cuantizare, simetrică, cu 8 niveluri, se obține semnalul digital din figură. Important este de urmărit modul de acordare a valorilor digitale (expresiile binare ale eșantioanelor):

– valorile celor 3 niveluri pozitive sunt: 001, pentru 1; 010, pentru 2; și 011, pentru 3;

– valorile negative sunt obținute prin metoda complementului. Astfel, pentru a exprima valoarea -1 a semnalului, se pleacă de la expresia corespunzătoare valorii +1: 001. Se înlocuiesc biții prin complementul lor, deci expresia devine: 110, apoi se adaugă 1. Expresia care rezultă în final pentru -1 va fi, deci, 111. Asemănător, pentru -2 se obține expresia 110, iar pentru -3, expresia 101. De remarcat în acest caz, că semnul valorii este indicat de MSB (cel mai semnificativ bit al expresiei), care ia valoarea 0, pentru „+”, și valoarea 1, pentru „-”.

În cazul exprimării simetrice, cu valorile obținute prin metoda complementului, pentru cuantizarea cu 16 biți, valorile digitale ale celor 65 536 de niveluri sunt cele din tabelul 2.3.

Referitor la cuantizare, trebuie reamintit că această prelucrare a semnalelor, ca și eșantionarea, introduce un zgomot suplimentar, peste semnalul util de AF. Mărimea zgomotului este funcție de numărul nivelurilor de cuantizare. Cu cât numărul lor este mai mare (deci și numărul de biți este mai mare, iar cuanta mai mică), și zgomotul este mai redus. Expresia raportului semnal/zgomot datorat cuantizării este: $S/N \text{ (dB)} = 6,02 \times n + 1,76$, unde cu S/N s-a notat raportul semnal/zgomot (prescurtare a expresiei englezești „signal to noise”), iar cu n s-a notat numărul bitilor folosiți.

Pentru cazul concret al prelucrării digitale AF, în care se folosesc 16 biți, valoarea raportului semnal/zgomot este teoretic de 98 dB, valoare foarte bună, care este cu mult acoperitoare pentru cerințele aparaturii AF destinată marelui public, și chiar și pentru cerințele actuale ale aparaturii profesionale.

2.3 CONVERSIA DIGITAL – ANALOGICĂ (DA)

Conversia semnal digital – semnal analogic este prelucrarea inversă conversiei analogic-digitale (AD), descrisă la paragraful precedent. Ea constituie ultima prelucrare a semnalului digital în lanțul prelucrărilor de la redare, și constă în transformarea semnalului digital (coduri binare) într-un semnal analogic cât mai asemănător (ideal, chiar identic), cu semnalul original, de la înregistrare.

Circuitele electronice care asigură realizarea conversiei DA sunt cunoscute sub numele generic de „convertoare digital-analogice” (CDA).

În figura 2.9,a este dată foarte simplificat schema de principiu a unui convertor DA, pentru semnale digitale de 4 biți. Cei 4 biți ai semnalului sunt aplicați în paralel la intrare, fiecare comandând un comutator: S_0, \dots, S_3 . Bitul cel mai semnificativ, de valoarea cea mai mare în codul digital (MSB), comandă comutatorul S_3 . Acesta se conectează la valoarea 1 și se deconectează la valoarea 0, a bitului de comandă. Același lucru se întâmplă cu fiecare bit al semnalului. Bitul cel mai puțin semnificativ (LSB) – de valoarea cea mai mică în codul digital – comandă comutatorul S_0 (de asemenea: „unu” – închis, „zero” – deschis).

La un anumit moment, prin aplicarea semnalului digital, comutatoarele trec în situația corespunzătoare codului digital care exprimă valoarea eșantionului. Curentul stabilit prin comutatorul închis este proporțional cu poziția bitului în codul digital. Astfel, curentul de valoarea cea mai mică, I , corespunde bitului de valoarea cea mai mică, LSB, care exprimă unitățile numărului digital. Comutatorul corespunzător este S_0 , iar contactul este închis pentru valoarea de bit „unu” și deschis (deconectat), pentru valoarea de bit „zero”. Bitul care exprimă zecile comandă comutatorul S_1 , care conectează (digital 1), sau nu (digital 0), sursa de $2 I$. Se ajunge astfel la bitul de valoarea cea mai mare, MSB, care comandă (în acest exemplu de coduri cu 4 biți) comutatorul S_3 . Acesta, la rândul său, asigură conectarea (la valoarea 1 a bitului), sau deconectarea (la valoarea de bit „0”) sursei cu cel mai mare curent ($8 I$).

Curentul obținut prin însumarea curenților care trec prin fiecare comutator închis este proporțional cu valoarea digitală a eșantionului respectiv, corespunzător unui anumit moment. Valoarea este stocată în condensatorul C , până în momentul în care se reface, în mod asemănător, valoarea noului eșantion.

Pentru exemplificare, în figura 2.9,b este dat un exemplu de semnal care exprimă valoarea digitală a 9 eșantioane succesive de semnal AF, în momentele t_0, \dots, t_8 . Valoarea fiecărui eșantion este exprimată cu ajutorul a 4 biți. Valorile eșantioanelor refăcute în momentele t_0, \dots, t_8 sunt reprezentate în figura 2.9,c. Semnalul AF refăcut pe condensatorul C , care memorează valoarea eșantionului între două momente ale refacerii semnalului, este reprezentat cu linie întreruptă, iar

semnalul final de AF obținut după o serie de filtrări succesive este reprezentat punctat în aceeași figură.

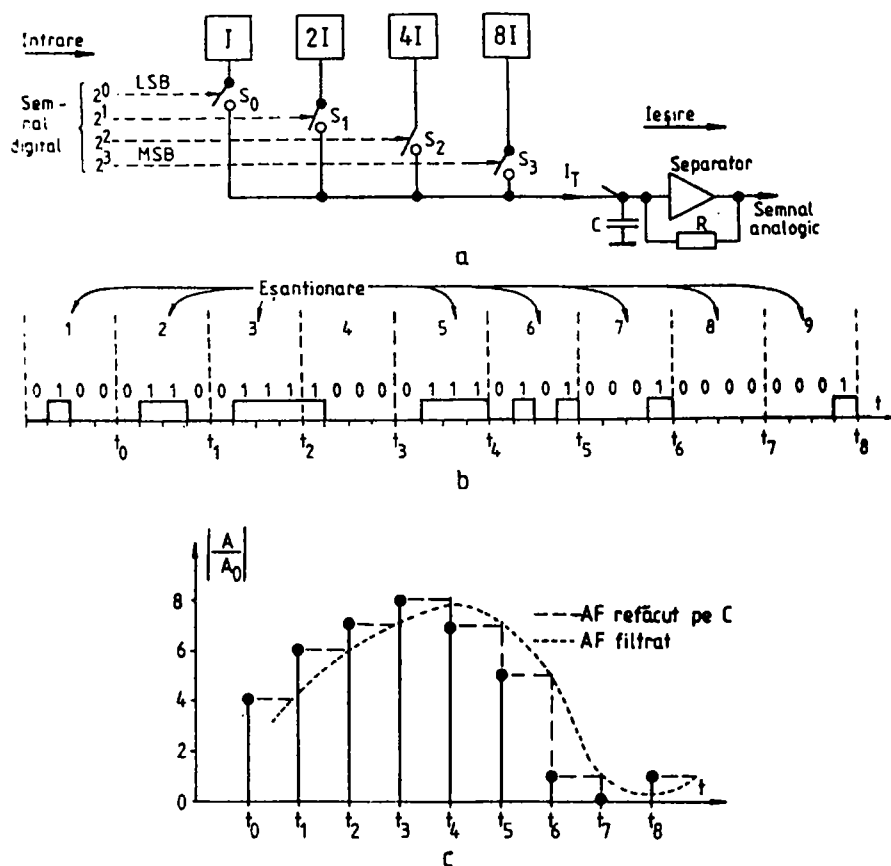


Fig.2.9 Conversia digital-analogică:

a) principiul de funcționare al convertorului DA (schema bloc); b) exemplul de semnal digital (4 biți), pentru exprimarea valorii a 9 eșantioane; c) forma semnalului analogic refăcut din semnalul digital.

Este evident că un număr cât mai mare de eșantioane în aceeași unitate de timp (frecvență de eșantionare crescută) și o cuantizare mai fină (un număr cât mai mare de biți care să exprime valoarea eșantionului) duc la rezultate mai bune, adică, la un semnal AF refăcut cât mai fidel semnalului original.

La refacere, tactul (frecvența de reconstituire a eșantioanelor) cât și numărul treptelor de cuantizare (reflectat în numărul biților folosiți pentru a exprima valoarea eșantionului) sunt aceleași cu cele utilizate la eșantionare (conversia AD), condiție care asigură compatibilitatea celor două conversii, și care motivează faptul

A pentru noțiunile respective, în literatura de specialitate sunt folosiți aceeași termeni (frecvență de eșantionare și trepte de cuantizare/ număr de biți pentru exprimarea valorii eșantionului), atât pentru conversia AD, cât și pentru conversia DA.

În practica refacerii semnalului analogic sunt cunoscute o serie de tipuri de convertitoare DA care au la bază câteva principii, devenite deja clasice în tehnica digitală.

- convertor DA cu curenți proporționali;
- convertor DA cu rețea rezistivă „în scară”;
- convertor DA cu surse de curent continuu;
- convertor DA cu structură mixtă.

Actualmente, în tehnica digitală AF (deci și în cazul DCC) sunt folosite convertoare foarte sofisticate, cu o prelucrare complexă a semnalului, care refac informația AF cu o precizie superioară oricărui tip de convertor clasic cunoscut. Aceste convertoare sunt realizate în tehnică integrată, și în marea lor majoritate folosesc *principiul supraeșantionării*.

Supraeșantionarea este o tehnică de prelucrare a semnalelor AF digitale, care constă în introducerea unor eșantioane suplimentare (create artificial) între eșantioanele reale ale semnalului. Introducerea acestor eșantioane suplimentare are ca efect obținerea unor performanțe superioare în procesarea digitală, echivalente cu cele obținute printr-o eșantionare cu o frecvență mai mare și o cuantizare mai fină decât cele folosite în realitate (de unde și numele de „supraeșantionare”). „Cheia” acestui tip de procesare este modul în care sunt create noile eșantioane, ele trebuind să fie cât mai asemănătoare (în sens probabilistic), cu cele reale (dacă ar exista). Această condiție asigură fidelitatea semnalului AF refăcut, față de semnalul original.

Atât principiile teoretice care stau la baza metodei supraeșantionării, cât și soluțiile tehnice foarte elaborate utilizate în tehnica DCC „la modă” depășesc nivelul propus al lucrării, așa că nu vom insista asupra lor. Facem acest lucru, cu atât mai mult cu cât utilizatorul, sau chiar depanatorul de DCC nu are acces la circuitele respective, ele fiind realizate sub formă de circuite integrate cu posibilități reduse de acces din exterior.

PRINCIPIILE PROCESĂRII

PASC

PASC este prescurtarea expresiei englezești: *Precision Adaptive Sub-band Coding*, care poate fi tradusă în românește prin „codare adaptivă a sub- benzilor” (sau, „pe subbenzi”).

PASC este o tehnică de procesare a semnalelor AF digitale, specifică înregistrării pe bandă magnetică, utilizată în special în sistemele DCC (casetofoane digitale). Prin procesarea PASC se obține o compresie a semnalului AF digital, în sensul unei reduceri substanțiale a numărului de biți cu care este exprimată informația, fără ca acest lucru să afecteze în final calitatea sunetului înregistrat/redat. Această compresie a expresiei digitale a semnalului AF este o procesare „inteligentă”, ea bazându-se pe cunoașterea caracteristicii acustice a urechii și a comportamentului său în prezența mai multor semnale simultane și de niveluri diferite.

3.1 CARACTERISTICA DE AUDIBILITATE

Așa cum se știe, urechea umană sesizează sunetele (variații de presiune) care depășesc o anumită valoare (intensitate) și se încadrează într-o anumită gamă de frecvențe (ton). Se știe de asemenea că în general urechea poate auzi sunete a căror frecvență este cuprinsă (teoretic) între 20 Hz și 20 kHz, iar sensibilitatea sa este funcție atât de intensitatea semnalului care o excită, cât și de tonul său. Sensibilitatea maximă a urechii este localizată în jur de 3 kHz.

Pentru urechea umană s-a stabilit statistic și un prag de audibilitate valabil pentru toată gama de sunete audibile. Pragul de audibilitate este nivelul minim al sunetului pe care urechea îl percepe ca atare.

Caracteristica determinată statistic a pragului de audibilitate pentru urechea umană este dată în figura 3.1.

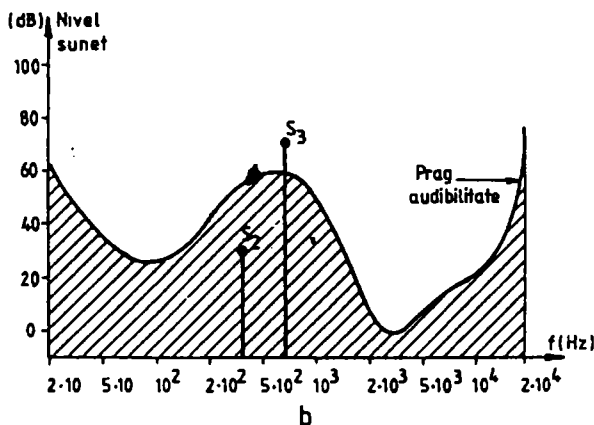
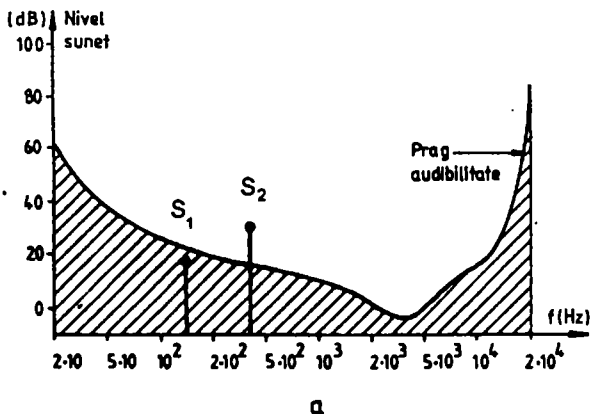


Fig.3.1 Prag de audibilitate:

- a) în condiții de audire a unor semnale de intensitate mică (referința);
- b) în condiții de audire a unui semnal mic în prezența unui semnal puternic.

Evident că există diferențe foarte mari între caracteristicile a două persoane diferite, între caracteristicile aceleiași persoane realizate la vârste diferite sau chiar între caracteristicile celor două urechi ale aceleiași persoane. Din acest motiv caracteristicile luate în considerare au la bază statistici făcute prin sondarea unui segment foarte mare de populație, iar în cazul prelucrării PASC în mod special au fost luate în considerare numai caracteristicile unor persoane cu auz deosebit de bun și educat muzical.

În figura 3.1,a este dată caracteristica de audibilitate în cazul unei audiții normale, cu sunete de nivel mic și mediu.

În exemplul dat, urechea este excitată cu două sunete S1 și S2 de nivele relativ mici. Sunetul S1 fiind sub pragul de percepere al urechii nu este auzit iar sunetul S2 care depășește pragul este auzit (perceput ca atare) de către ureche.

În figura 3.1,b este redată caracteristica de audibilitate a aceleleași persoane în cazul audii unui sunet de intensitate medie, S2, în prezența unui sunet puternic, S3.

Situația reflectă particularitatea urechii umane de a-și modifica pragul de audibilitate în prezența unui sunet puternic, desensibilizându-se. În figură este prezentat chiar acest efect al sunetului puternic S3, care face ca sunetul S2, perfect audibil în condiții normale să nu mai poată fi auzit în prezența lui S3, caracteristica urechii modificându-se pe perioada existenței semnalului puternic ca în figură. Fenomenul este cunoscut și sub numele de „mascare a sunetelor slabe de către sunetele puternice”.

Având în vedere comportamentul urechii umane rezultă deci că nu toate sunetele prezente la un anumit moment în semnalul AF original sunt audibile. Sunetele neaudibile sunt :

- sunetele cu nivelul mai mic decât pragul de audibilitate al urechii;
- sunetele mascate de către sunete puternice simultane.

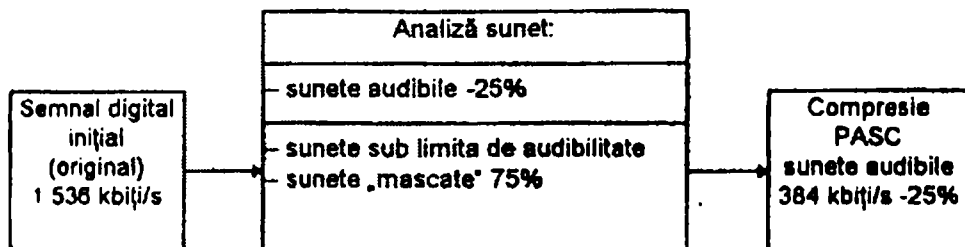


Fig.3.2 Compresia PASC: principiu.

Întrucât prelucrarea tehnică a semnalelor AF originale presupune captarea tuturor sunetelor prezente la un moment dat la intrarea sistemului, semnalul AF va conține deci și o serie de informații practic inutile. Prelucrarea PASC realizează în principiu tocmai eliminarea informației inutile fără a afecta totuși calitatea sunetului audibil la ieșire.

Schematic, prelucrarea PASC este redată în figura 3.2.

Ea constă în analiza semnalelor AF originale, din care se păstrează numai informația privitoare la sunetele audibile. Pe bază de analize statistice, raportul de compresie în cazul PASC a fost stabilit la 4/1.

Revenind la cazul concret DCC, în care semnalul original este eșantionat cu o frecvență de 48 kHz, iar valoarea fiecărui eșantion (cazul stereo: AF stânga și AF dreapta) este exprimată cu ajutorul a câte 16 biți, rezultă o frecvență a biților de: $16 \times 48 = 1\,536$ kbiți/s.

Prin compresie – eliminarea biților care conțin date cu privire la semnalele care nu sunt auzite – frecvența biților informației se reduce la 384 kbiți/s, mult mai ușor de prelucrat în continuare.

3.2 FAZELE PROCESĂRII PASC

Procesarea PASC, foarte eficientă (reducere a informației cu 75% fără afectarea calității sunetului) se bazează și pe faptul că pragul de audibilitate se modifică în prezența sunetelor puternice.

În realitate modificarea nu este globală, pentru întreaga gamă de frecvențe audio, ci afectează numai sunetele dintr-o bandă de frecvențe apropiată frecvenței sunetului puternic. Situația este redată schematic în figura 3.3.

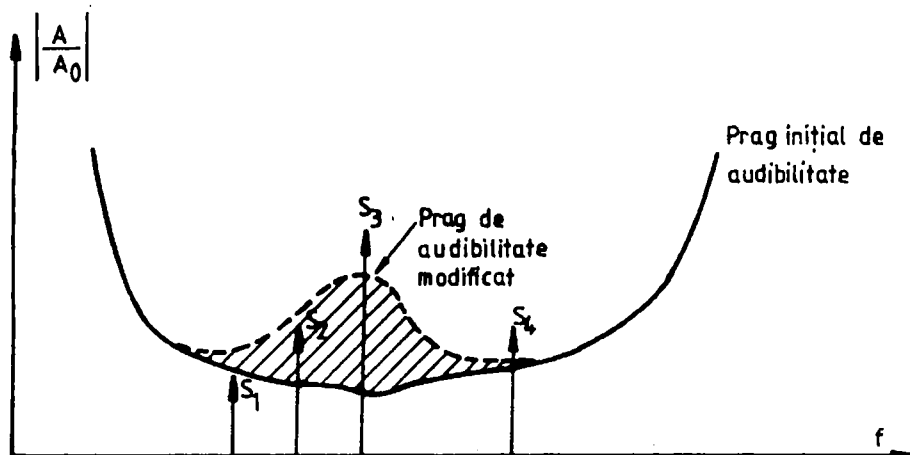


Fig.3.3 Limitarea în frecvență a efectului de mascare a sunetelor de intensitate mai mică de către sunetele de intensitate mare.

În figură sunt reprezentate patru semnale de nivele diferite :

– S1, de nivel mic, sub pragul normal de audibilitate (care nu va fi auzit în nici o situație);

– S2, de nivel ceva mai ridicat, superior pragului de audibilitate normal (care poate fi auzit dacă nu sunt prezente simultan și alte semnale de nivel mai mare, într-o gamă apropiată de frecvențe);

– S3, de nivel mare, care prin prezența sa va masca semnalele mai mici din zona de frecvențe apropiate (în exemplul dat , S2 nu se va auzi, în prezența lui S3);

– S4 – semnal de nivel mediu, apropiat de cel al semnalului S2, însă mult mai depărtat ca frecvență de S3 (acesta se va auzi chiar în prezența semnalului S3, deoarece zona de frecvență din care face parte nu este afectată de S3) .

Exemplul este pur calitativ însă subliniază faptul că „mascarea” sunetelor de intensitate mai mică de către cele de intensitate mai mare este limitată în frecvență. Acest lucru duce automat la necesitatea analizării semnalului nu numai în intensitate ci și în frecvență. Altfel spus, analiza semnalului AF trebuie făcută în toată gama de AF, însă pe benzi înguste de frecvențe.

3.2.1 CONCEPTUL DE PROCESARE PASC – ECHIVALENTUL ANALOGIC

Pentru a înțelege acest tip de procesare (compresie), mai puțin (sau chiar deloc) cunoscut vom încerca să prezentăm pentru început varianta sa analogică, mai apropiată de modul de înțelegere fizică a lucrurilor. Compresia este realizată în mai multe faze redată schematic în figura 3.4, folosind, așa cum s-a menționat deja, modelul de semnal analogic.

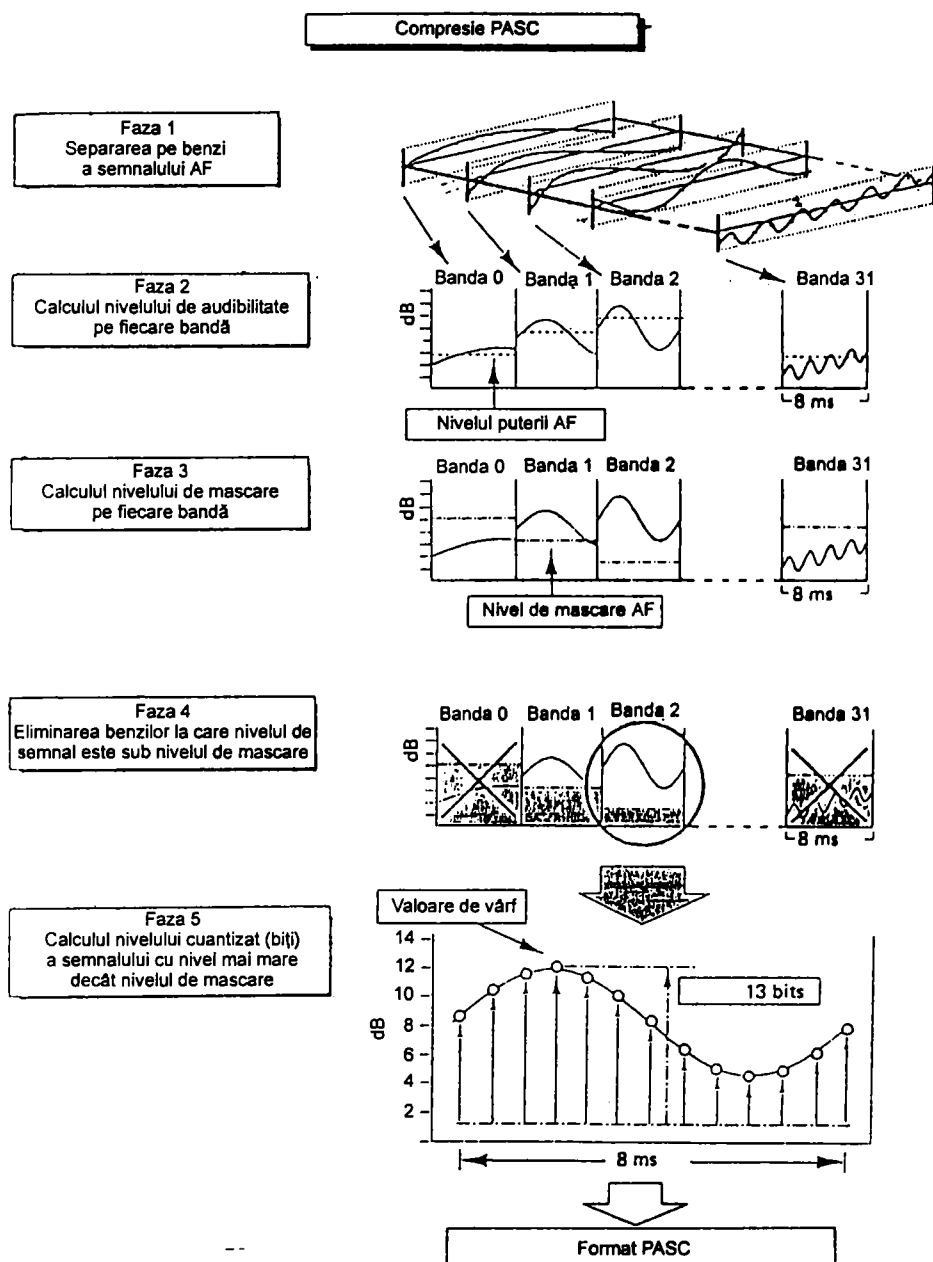


Fig.3.4 Fazele procesării PASC.

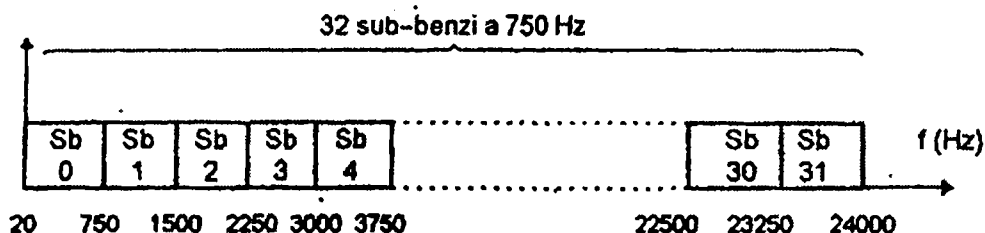


Fig. 3.5 Poziționarea celor 32 sub-benzi AF pe axa frecvențelor.

Prima fază constă în analiza în frecvență a semnalului și separarea lui – prin filtrare – în 32 subbenzi de semnal de câte 750 Hz. Această valoare se obține plecând de la banda maximă de frecvențe audio, de ordinul a 24 kHz (1/2 din frecvența de eșantionare, care are valoarea de 48 kHz). Împărțind deci banda maximă AF la 32, numărul subbenzilor, se obține (în final) lățimea de bandă de 750 Hz/ subbandă.

Poziția subbenzilor pe o axă a frecvențelor este dată în figura 3.5.

A doua fază constă în compararea nivelului semnalului de AF din fiecare subbandă cu nivelul pragului normal de audibilitate al urechii (pentru subbanda respectivă).

A treia fază constă în compararea nivelului semnalului de AF din fiecare subbandă cu pragul de mascare (pragul de audibilitate extins, în prezența unui semnal puternic).

Rezultatul fazelor a doua și a treia se materializează în faza a patra în care sunt eliminate semnalele care se plasează sub pragul limită al subbenzii (pragul de audibilitate normal sau pragul de mascare).

Faza a cincea constă în aprecierea cantitativă a valorii de vârf a semnalului din fiecare subbandă și atribuirea unui anumit număr de biți pentru exprimarea ei. Această fază este deja una de prelucrare digitală, și asupra ei vom reveni.

Din acest moment se poate trece la descrierea prelucrării semnalelor AF digitale pentru a fi aduse la formatul PASC.

3.2.2 COMPRESIA PASC A SEMNALELOR DIGITALE

Presupunând înțeles principiul și fazele de compresie PASC, pe model analogic, se poate aborda modelul real, pe semnale digitale. Revenim deci la fazele compresiei, pornind de la semnalul AF digital, eșantionat cu $f_s = 48$ kHz și cu o rată a biților de 1356 kbiți/s (48 000 eșantioane $\times 2 \times 16$ biți/eșantion).

a) Faza I: Divizarea semnalului în 32 subbenzi de frecvență, cu ajutorul filtrelor digitale

În realitate această divizare nu este una analogică, realizată cu filtru trece bandă care practic nici n-ar putea asigura separarea între benzi. Separarea este realizată la nivel de semnale digitale, prin calcule. Procesarea este realizată cu ajutorul unor filtre FIR (*Finite Impulse Response* – filtru digital cu răspuns finit) de sub bandă (SBF – *Sub-Band Filter*). Rezultatul procesării este obținerea celor 32 semnale digitale corespunzătoare celor 32 subbenzi.

În timpul procesării, în filtrul de separare are loc o supraeșantionare care ridică numărul biților de la 16 biți/ eșanțion la 24 biți/ eșanțion, ceea ce face ca zgomotul de cuantizare a semnalului să fie mai redus.

Reamintim pe scurt că supraeșantionarea este o metodă artificială de reducere a zgomotului de eșantionare. Pentru ca valoarea cuantei de eșantionare să fie cât mai mică ar trebui folosit un număr mai mare de biți. Acest lucru se obține în tehnica digitală prin metode care au la bază principii matematice simple (interpolare, extrapolare) cât și cunoașterea particularităților auzului uman.

În figura 3.6 este redată foarte schematic situația trecerii de la o cuantă Q la cuanta $1/2 Q$, care crește precizia aproximării valorii analogice.

Foarte schematic, în figura 3.7 este redată procesarea semnalului AF digital în cadrul acestei prime faze a compresiei PASC. În figură sunt marcate cele două operațiuni de bază: supraeșantionarea (care din punct de vedere al înțelegerii principale a funcționării nu este importantă, ea având numai rolul practic de a reduce zgomotul de cuantizare) și separarea semnalului pe cele 32 benzi de frecvență.

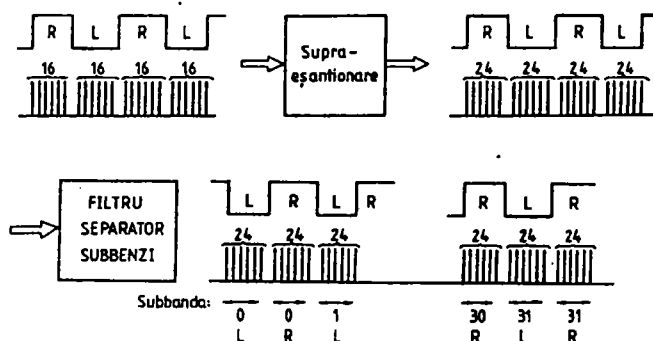


Fig.3.7 Prima fază a prelucrării PASC (supraeșantionare și separarea benzilor).

Blocul de informație audio luat ca bază este secvența de 8 ms, care cuprinde câte 12 eșantioane pe fiecare subbandă. Din aceasta rezultă că în total avem vorba de 384 eșantioane ($32 \text{ subbenzi} \times 12 \text{ eșantioane}$), iar frecvența de eșantionare este 48 kHz, de unde se stabilește durata de 8 ms a blocului ($1024 / 48\,000 = 0,008$).

Foarte sugestiv, blocul inițial de informație AF este prezentat în figura 3.8.

Fiecare valoare de eșanțion din blocul inițial este exprimată cu ajutorul a 16 biți, pe fiecare dintre benzile de frecvență ale subgrupelor. Situația este redată în figura 3.9.

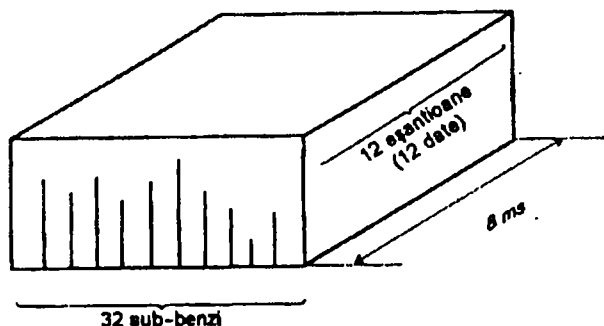


Fig.3.8 Blocul inițial de informație AF.

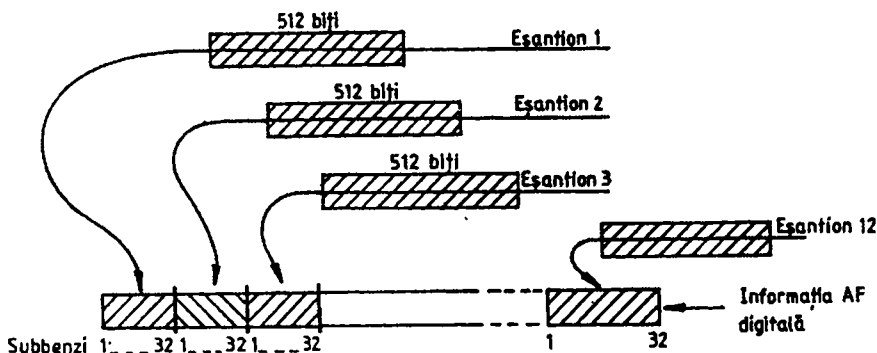


Fig.3.9 Formatul informației AF digitale la finalul primei faze.

Fiecărui eşantion îi corespunde un grup de 512 biți (32 benzi x 16 biți/eşantion = 512 biți)

Informația digitală corespunzătoare blocului este obținută prin înscrierea informației cu privire la cele 12 eşantioane.

b) Faza II : Selecția benzilor cu semnal audibil și stabilirea numărului de biți pentru înregistrare

Această fază include fazele 2 și 3 din prezentarea principală (paragraf 3.2.1), unde din motive pur explicative compararea nivelului semnalului cu pragul de audibilitate normal și cu pragul de mascare au fost prezentate ca fiind faze diferite de prelucrare. În realitate este vorba de o singură comparație cu pragul de mascare, al cărui nivel coincide cu pragul normal, în cazul lipsei unor semnale puternice.

În plus, operația este realizată de către un circuit integrat specializat care prelucrează unitar semnalele AF digitale, grupate ca în figura 3.9.

Circuitul comparator elimină deci din șirul de informații pe cele care corespund eşantioanelor care nu depășesc pragul de audibilitate. Rămân deci în discuție numai semnalele audibile. Acestea trebuie să li se atribue un anumit număr de biți pentru a fi corect înregistrate pe banda magnetică.

La acordarea numărului de biți se ține seama, ca și la stabilirea pragului de audibilitate atât de caracteristica acustică a urechii umane cât și de nivelurile semnalelor audio prezente în același moment.

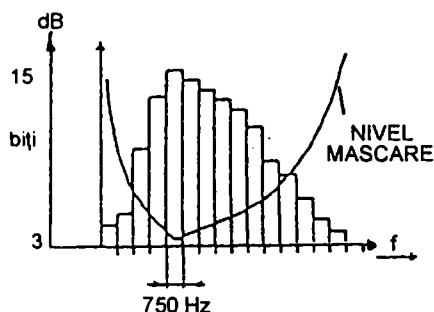


Fig. 3.10 Numărul de biți utilizați pentru exprimarea valorii eșantionului în fiecare subbandă.

În cazul de referință, în lipsa unor semnale AF puternice, pentru numărul de biți alocați exprimării nivelului semnalului în fiecare subbandă, se ține seama de caracteristica acustică a urechii, situația fiind dată în figura 3.10.

Astfel, numărul cel mai mic este 2 biți (în gamele de frecvență de la limita audibilității), iar numărul cel mai mare este de 15 biți, pentru zona de sensibilitate maximă a urechii.

În momentul în care este recepționat un sunet al cărui nivel este puternic, numărul biților utilizați pentru exprimarea nivelului semnalului din banda respectivă crește, iar numărul biților cu care se pot exprima nivelurile semnalelor din benzile apropiate scade. Situația este ilustrată în figura 3.11.

În figura 3.11, a este reprezentată situația în care sunt recepționate două semnale, S1 și S2, de valori mari. Numărul biților alocați benzilor semnalelor S1 și S2 a crescut cu 3...4 biți iar numărul biților cu care se exprimă nivelul semnalului în benzile apropiate a scăzut cu câțiva biți (linia punctată marchează nivelul de referință). În figura 3.11, b este dată o situație mai specială, când semnalul S1 atinge o valoare mare, benzii de frecvență i se atribuie numărul maxim de biți, iar nivelul semnalului în benzile apropiate se exprimă cu un număr redus de biți.

Din acest joc al numărului de biți alocați pentru exprimarea nivelului semnalului pe fiecare bandă se obține compresia PASC, compresie a informației digitale care, așa cum se va vedea în continuare, nu afectează calitatea semnalului AF înregistrat (și redat). Numărul de biți alocați exprimării nivelului eșantionului este una dintre informațiile importante care însoțește semnalul AF și este exprimat cu ajutorul unui cod de 4 biți (16 valori). Numărul maxim de biți utilizați pentru scrierea valorii este 15, iar corespondența număr biți – cod de alocare este dată în tabelul 3.1.

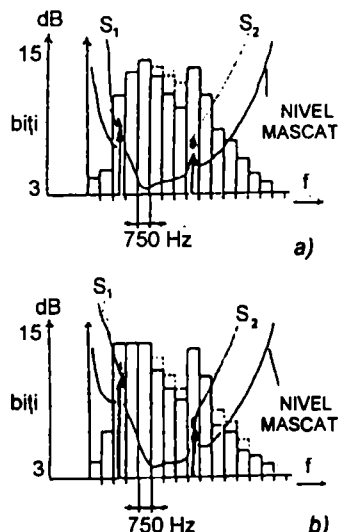


Fig. 3.11 Numărul de biți alocați pentru exprimarea valorii eșantionului, în cazul prezenței unor semnale AF de valori mai ridicate:

- a) semnale de valori puțin peste medie;
- b) semnale de valori maxime.

Tabelul 3.1

Cod (informație despre alocare)	Număr de biți alocați pt. exprimare valoare
0000	0
0001	2
0010	3
0011	4
0100	5
0101	6
0110	7
0111	8
1000	9
1001	10
1010	11
1011	12
1100	13
1101	14
1110	15

c) Faza III: Formatul PASC al informației AF digitală

Cea de a treia fază a prelucrării PASC constă în prelucrarea datelor pentru a fi înscrise în formatul PASC. Modul de formare a codului pentru fiecare valoare a unui eșantion, evident, împreună cu numărul de biți alocați, reprezintă cheia codării PASC. În definitiv, compresia PASC are la origine două surse de diminuare a cantității de date digitale (fără consecințe calitative asupra calității) :

- eliminarea semnalelor sub pragul de audibilitate momentană (prag natural și prag extins în prezența semnalelor puternice);
- modul de codificare a nivelului semnalului AF digital – prin numărul biților alocați pentru exprimarea fiecărui eșantion de semnal AF (audibil).

Dacă pentru eliminarea semnalelor sub pragul audibilității este suficient un sistem de comparare a semnalului util cu un nivel fix de referință, sau cu un nivel de referință dinamic dar obținabil printr-un algoritm relativ simplu, modul de exprimare a nivelului presupune o prelucrare "inteligentă", sofisticată a semnalului, controlată de către un microprocesor.

Așa cum s-a arătat deja ,exprimarea valorii nivelului de semnal în fiecare bandă de frecvențe (de 750 Hz), dacă este în zona de audibilitate, se face într-un anumit mod, folosind un anumit număr de biți, în așa fel încât informația totală a blocului să nu depășească un anumit număr de biți (1/4 din volumul maxim al informației inițiale-necomprimate).

Pentru aceasta, în primul rând, fiecărei benzi de frecvență I se atribuie un număr de biți pentru exprimarea valorii, vezi „Faza II”, însă și în acest caz, modul de exprimare a valorii, are un caracter special.

Pentru fiecare subbandă, pentru blocul de 12 eșantioane, expresia este formată din două părți, ca în figura 3.12.a.

O primă parte numită factor de scară (sau de scală), formată din 6 biți, exprimă valoarea eșantionului celui mai important (de valoare maximă) într-o scară de eșantionare absolută, cu 64 nivele (6 biți, $2^6 = 64$ nivele), ca în figura 3.12.b.

A doua parte, formată din 2 ...15 biți (biți alocați pentru banda respectivă) exprimă valoarea eșantionului, având ca referință factorul de scară.

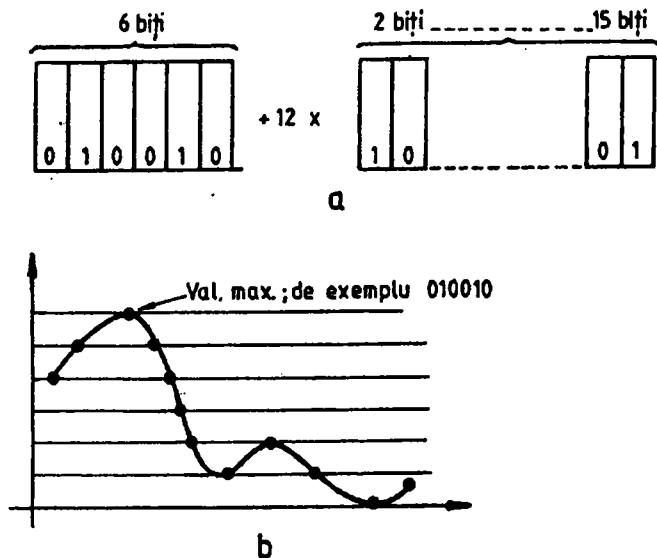


Fig.3.12 Modul de exprimare a valorii celor 12 eşantioane corespunzătoare unei subbenzi a blocului de semnale:
a - exprimarea valorii eşantionului; b - stabilirea "factorului de scară".

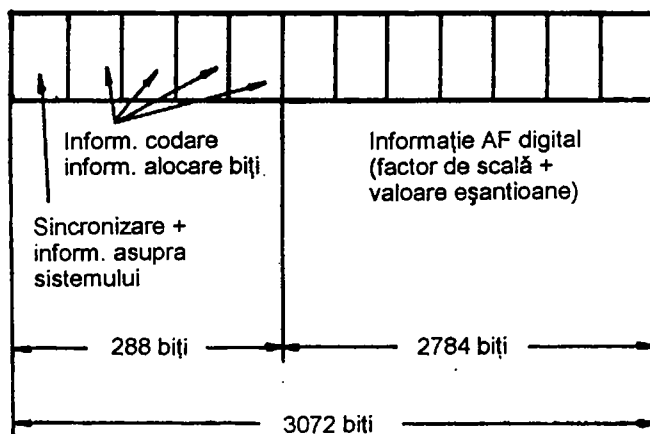


Fig.3.13 Formatul semnalului AF digital, procesat PASC.

Numărul biților influențează numai finețea aprecierii valorii propriu-zise a eşantionului față de valoarea maximă (referința).

Calitativ vorbind, acest mod de exprimare este foarte asemănător cu exprimarea logaritmică, factorul de scală jucând rolul caracteristicii, iar biții alocăți, pe cel al mantisei.

Deci, valorile celor 12 eşantioane pentru una dintre benzile de frecvență pot fi exprimate cu un număr de biți cuprinși între :

minimum: $6 + 12 \times 2 = 30$ biți;

maximum: $6 + 12 \times 15 = 186$ biți.

Pentru a asigura toate informațiile necesare la redare, acestor date AF de la formarea codurilor PASC li se adaugă informații cu privire numărul subbenzii, numărul biților de cuantizare etc., așa fel încât în final un format PASC va avea structura din figura 3.13.

3.3 PROCESARE PASC – RECAPITULARE

Deoarece procesarea PASC reprezintă elementul cu adevărat specific tehnicii DCC, revenim cu o scurtă recapitulare a părților sale originale. Ne vom referi numai la procesarea la înregistrare, având în vedere că procesarea la redare nu este altceva decât efectuarea inversă a prelucrărilor de la înregistrare.

Schema bloc a unui montaj care poate asigura procesarea completă PASC este dată în figura 3.14.

La intrare este aplicat semnalul original AF digital cu o frecvență a biților de 1 536 kbiți/s. În continuare, semnalul suferă următoarele prelucrări:

- este separat în 32 benzi de frecvență, fiecare cu lățimea de bandă de 750 Hz;
- din totalitatea datelor AF digitale sunt selectate numai semnalele care depășesc pragul real de audibilitate, celelalte fiind eliminate;
- fiecărui eșantion rămas i se atribuie un anumit număr de biți pentru a i se exprima valoarea;
- valoarea fiecărui eșantion se exprimă cu ajutorul a două cuvinte, unul de lungime fixă exprimat cu 6 biți, constituind „factorul de scală”, și altul exprimat cu ajutorul numărului de biți alocați – număr variabil cuprins între 2 și 15;

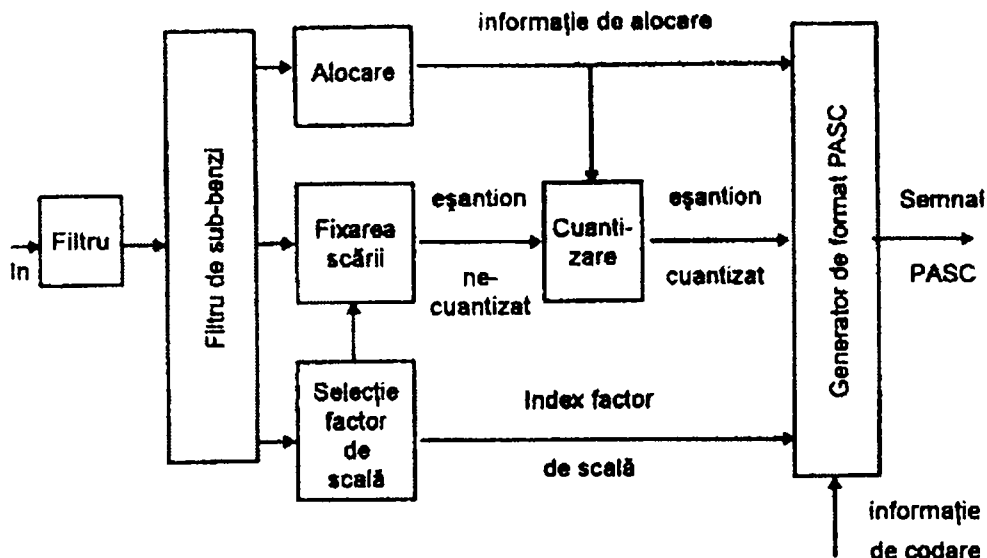


Fig.3.14 Schema bloc, de principiu, a codului PASC.

– formatul final al semnalului AF comprimat PASC se obține adăugând informației AF o serie de informații (tot sub formă digitală) cu privire la datele codării, numărul subbenzii, numărul de biți alocați exprimării valorii eșantionului etc.

Reamintim că unitatea de bază a informației în cadrul prelucrării digitale a datelor este blocul de 12 eșantioane, care corespunde secvenței de semnal AF cu durata de 8 ms. Acest bloc este cea mai mică secvență de semnal digital care cuprinde toate informațiile necesare la redare.

Informația digitală a blocului conține 3 072 biți și durează 8 ms, deci este caracterizată de o rată (frecvență) a biților de 384 kbiți/s.

Comparând cu frecvența biților semnalului AF digital inițial, de 1 536 kbiți/s, rezultă factorul de compresie de 1/4 al prelucrării PASC.

PROCESAREA SEMNALELOR LA ÎNREGISTRARE

Schema bloc cea mai generală a circuitelor de procesare a semnalelor într-un casetofon digital este dată în figura 4.1. Se remarcă faptul că procesarea la redare este corespondentul „în oglindă” al procesării la înregistrare, ea reluând în sens invers toate fazele complementare de prelucrare a datelor (de la înregistrare).

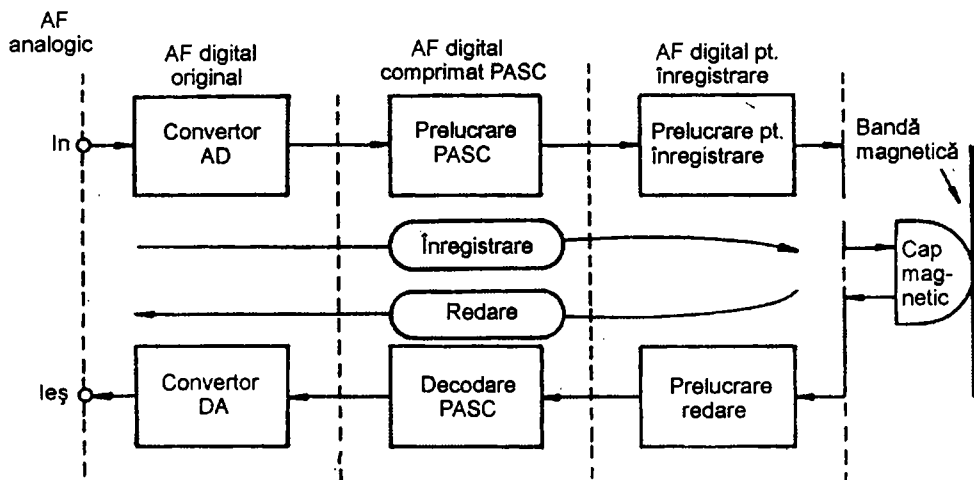


Fig. 4.1 Schema bloc generală a lanțului de procesare a semnalului AF în casetofonul digital.

Asupra procesării la redare vom reveni în capitolul următor, în acest capitol urmând să ne ocupăm numai de prelucrarea semnalelor la înregistrare.

Așa cum reiese din schema bloc, prelucrarea semnalelor la înregistrare (ca și la redare) are loc în trei mari etape (trei tipuri de circuite specializate):

- conversia analogic-digitală;
- procesare PASC (compresie);
- prelucrarea semnalelor pentru înregistrarea pe bandă magnetică.

În general, principiile prelucrărilor digitale din casetofonul DCC ar trebui să fie cunoscute, inclusiv compresia PASC, prezentată la capitolul 3. Având în vedere însă noutatea „digitalizării” în viața electroniștilor de la noi, vom reveni cu amănunte asupra procesării respective, marcându-i atât partea referitoare la principiile de funcționare, cât și elementele de specificitate ale aplicației DCC.

4.1 SEMNALE DE INTRARE ȘI SEMNALE DE IEȘIRE

Pentru a înțelege mai bine scopul cât și etapele procesării semnalelor AF (digitale) dintr-un casetofon DCC, considerăm că este necesară în primul rând cunoașterea formatului inițial (de unde se pleacă) și a formatului final (unde se ajunge) ale semnalelor tranzitate.

4.1.1 SEMNALELE DE LA INTRAREA CASETOFONULUI

La intrarea de AF a casetofonului digital pot fi aplicate două tipuri de semnale AF:

- semnal AF analogic de frecvență cuprinsă între 20 Hz și 20 000 Hz (teoretic 24 000 Hz);
- semnal AF digital cu o rată a biților de 1 536 kbiți/ s.

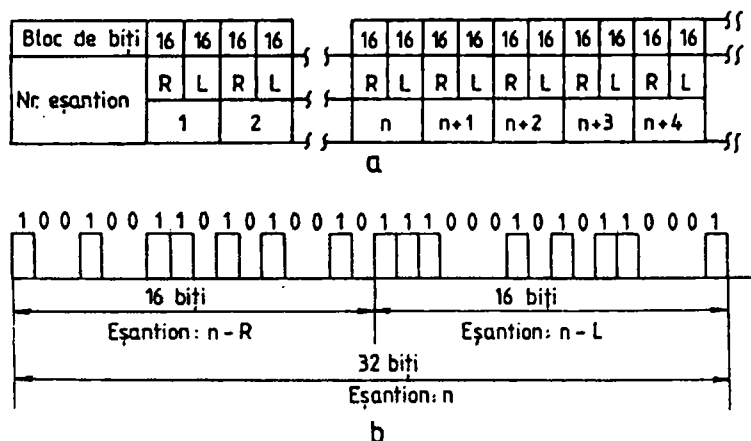


Fig.4.2 Structura semnalului inițial de AF stereo – eșanșionat cu o frecvență de 48 kHz:

a – succesiunea eșanșioanelor; b – exemplu de eșanșion (16 biți – R, 16 biți – L).

Chiar dacă sursa primară de semnal AF asigură un semnal analogic, acesta este convertit chiar la intrare în semnal digital primar, în cele ce urmează interesându-ne forma sa digitală.

Acest semnal este constituit dintr-o succesiune de impulsuri grupate în cuvinte de câte 16 biți, fiecare cuvânt exprimând valoarea digitală a eșanșionului pe care îl reprezintă.

Având în vedere că este vorba de o înregistrare stereo, cu două canale de AF dreapta – R (*right* – dreapta, în limba engleză) și stânga – L (*left* – stânga, în limba engleză) – situația este echivalentă din punct de vedere digital cu o eșanșionare cu 32 biți/ eșanșion (cele două eșanșioane R și L fiind simultane). And în considerare faptul că frecvența de eșanșionare curentă în cazul DCC este

48 kHz, rezultă că semnalul AF digital se caracterizează printr-o frecvență a biților de 1 536 kbiți/s și este structurat ca în figura 4.2.a.

În figura 4.2,b este dat un exemplu de eșantion format din două cuvinte de câte 16 biți, unul pentru AF dreapta, altul pentru AF stânga.

4.1.2 SEMNALE UTILIZATE LA ÎNREGISTRARE

Formatul semnalelor folosite la înregistrare trebuie să îndeplinească o serie de condiții, din nefericire cu efecte opuse asupra ratei biților semnalului AF digital. Astfel :

- trebuie să aibă o frecvență a biților cât mai redusă, pentru a putea fi înregistrat pe bandă magnetică, ceea ce presupune o limitare a frecvențelor înalte;
- trebuie să conțină cât mai mulți biți, din mai multe motive:
 - pentru a asigura fidelitatea față de informația primară de AF;
 - pentru a permite adăugarea unei întregi serii de semnale auxiliare cu informații suplimentare (sincronizare, compresie, numerotare subbenzi etc);
 - pentru adăugarea cuvintelor de control care asigură corectarea erorilor;
 - pentru a putea accepta numărul suplimentar de biți introduși prin codarea ETM.

În vederea asigurării compromisului optim în ceea ce privește mărirea ratei biților, în tehnica DCC s-a ajuns la un standard caracterizat printr-o serie de parametri tehnici, dintre care cei mai importanți, care asigură compatibilitatea și calitatea înregistrării și redării, sunt prezentați în continuare:

a) Pentru înregistrare se folosește un semnal digital NRZI (*Non Return to Zero Inverted* – impulsuri inversate, fără revenire la zero).

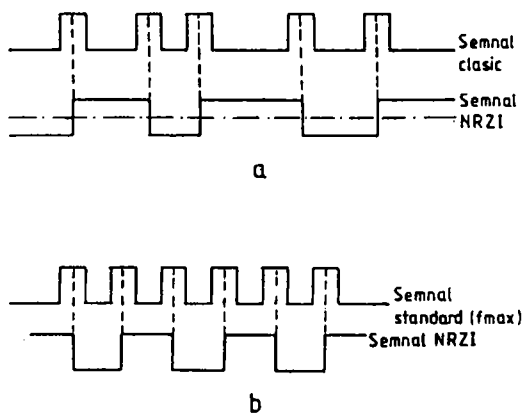


Fig.4.3 Corespondența între semnalul digital clasic și semnalul NRZI:

a – semnal oarecare; b – semnal de frecvență maximă.

Reamintim că acest procedeu, folosit frecvent în tehnica înregistrărilor semnalelor digitale (CD audio, CD video, magnetofon digital etc.), se carac-

terizează prin faptul că valoarea „unu” a semnalului este reprezentată de frontul impulsului, iar valoarea „zero” este reprezentată de valoarea de palier a impulsului (indiferent care este ea). În figura 4.3,a este reprezentată corespondența dintre un semnal digital clasic și un semnal NRZI.

Impulsurile de valoare „unu” sunt marcate de câte un salt al valorii semnalului, indiferent de sensul său. Impulsurile de valoare zero (secvențele de valori zero) sunt redade de valoarea constantă a semnalului.

Plecând și de la faptul că, statistic vorbind, valorile „unu” ale semnalului sunt mult mai rare decât valorile „zero”, s-au impus semnalului final NRZI două condiții de format care duc la „ușurarea” condițiilor tehnice ale înregistrării:

– În nici o secvență nu trebuie să apară două valori „unu” alăturate – ceea ce are drept consecință reducerea frecvenței maxime de bit, situație redată în figura 4.3,b.

– Trebuie să existe un echilibru între durata impulsurilor „pozitive” NRZI și cea a impulsurilor „negative” NRZI, așa fel ca valoarea medie a semnalului să fie plasată undeva la 1/2 din amplitudine, condiție necesară pentru a se asigura precizia „citirii” semnalului la redare. Acest lucru se asigură prin condiția ca lungimea maximă a secvenței de biți „zero” să nu depășească zece impulsuri.

În situația în care semnalul AF rezultat din prelucrările anterioare poate avea orice structură de biți, aceste două condiții restrictive de mai sus sunt asigurate printr-o procesare ulterioară a semnalului, numită codare ETM (*Eight to Ten Modulation* – modulație opt la zece) care constă în înlocuirea cuvintelor de 8 biți cu cuvinte de 10 biți.

Noile cuvinte de 10 biți sunt generate în așa fel încât să îndeplinească cele două condiții impuse semnalului NRZI.

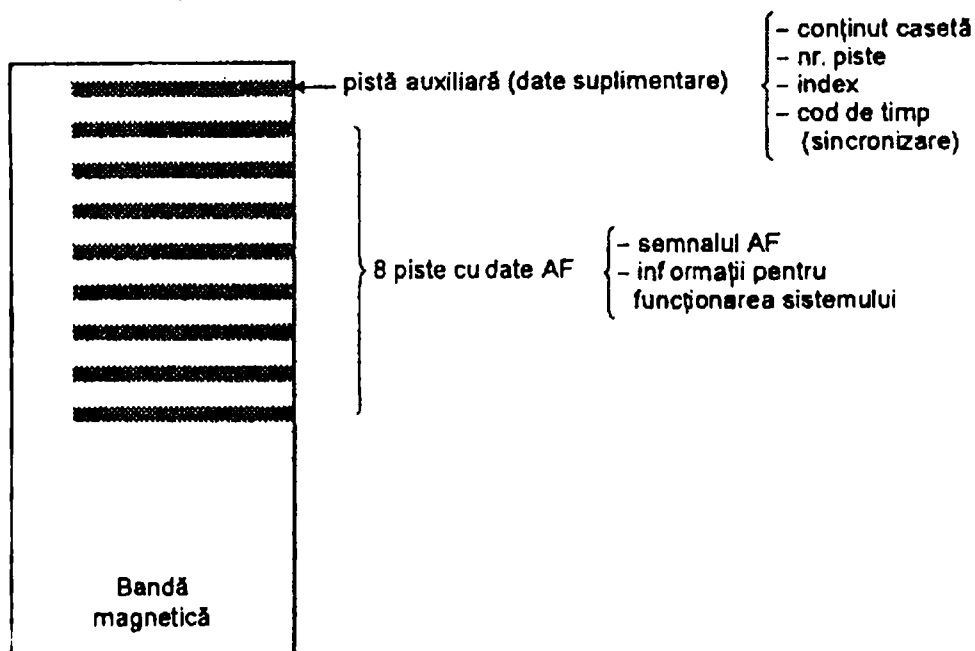


Fig.4.4 Structura înregistrării magnetice pe DCC.

b) Înregistrarea semnalului AF digital se face pe 8 piste paralele. Situația este reprezentată în figura 4.4.

Informația AF și informațiile suplimentare strict legate de informația AF sunt înregistrate pe 8 piste, iar informațiile auxiliare legate de partea de prelucrare a înregistrării magnetice (tact, număr pistă, lista conținutului înregistrării etc.) sunt realizate pe o pistă suplimentară (a 9-a), poziționată spre marginea benzii magnetice.

Înregistrările pe cele 8 piste se realizează simultan, efectul principal al fenomenului fiind reducerea ratei biților la $1/8$ din rata biților semnalului AF final.

Procedeeul este echivalent, însă evident mult mai comod și mai economic decât creșterea vitezei de rulare a benzii audio de 8 ori (ceea ce ar fi dus la scurtarea duratei de înregistrare – redare a unei casete în același raport cât și la o complicare suplimentară, deloc de neglijat a mecanismului de antrenare a benzii).

c) Se realizează un format final standard de semnal AF, valabil numai pentru secvența de înregistrare-redare, în care toate informațiile AF sunt tratate unitar, ca o succesiune de cuvinte de câte 8 biți, aduși prin codarea ETM (opt la zece) la lungimea de 10 biți. Structura formatului este dată în figura 4.5.

Un cadru de înregistrare este format din 4 blocuri. Deoarece datele auxiliare au o frecvență a biților de $1/8$ din cea a pistelor cu informație, cadrul de date auxiliare are aceeași durată cu cea a cadrului de date de pe oricare dintre cele 8 piste.

În figura 4.5,a este dat formatul semnalului de date (AF), același pentru toate cele 8 piste. Baza de prelucrare este cadrul de înregistrare (*frame*), care conține 32 blocuri de semnal, care la rândul său conține 51 de cuvinte a câte 10 biți. În total, numărul de biți al unui cadru de înregistrare este de: $10 \times 51 \times 32 = 16\,320$ biți. La acesta se mai adaugă cei circa 64 biți IFG (*Inter-Frame Gap* – zona de separare dintre două formate cadru de înregistrare). Această secvență care teoretic are 64 biți în realitate poate avea o lungime variabilă, ea preluând diferite erori de prelucrare a datelor, datorate de exemplu impreciziei tactului, micilor abateri mecanice etc. care la redare ar putea duce la distorsiuni.

În final, rezultă deci că un cadru de înregistrare conține 16 384 biți.

În figura 4.5,a este redată în continuare structura fiecărui bloc de semnal AF, format la rândul său din 51 de cuvinte (a câte 10 biți). Primele 3 cuvinte notate cu H (de la *header* – titlu, cap de rând), conțin impulsurile de sincronizare și cuvintele de adresă ale cadrului de înregistrare (2×3 biți) și ale blocului (2×5 biți).

Impulsurile de sincronizare (*Sync Pattern*) marchează începutul fiecărui bloc de semnale, aducând sistemul de înregistrare/redare la starea inițială. Cele două perechi de semnale de adresă (de cadru și de bloc) sunt necesare în cadrul procesării de la redare, pentru a trimite datele blocului următor la locația RAM corectă, în vederea refacerii semnalului digital PASC.

Următoarele 48 de cuvinte (a câte 10 biți), notate cu D (de la *data* – date AF) conțin informațiile AF, format PASC și modulate ETM.

Formatul semnalului auxiliar, înregistrat pe pista suplimentară, este redat în figura 4.5.b. El este format tot din cadre de înregistrare, însă structura cadrului în acest caz diferă esențial de structura cadrului de date. Fiecare cadru de înregistrare de informații auxiliare este format din 4 blocuri a câte 51 cuvinte (a câte 10 biți). Fiecare bloc, așa cum reiese și din figură, este format la rândul său, din 51 cuvinte a câte 10 biți.

Primele 3 cuvinte, notate tot cu H au următorul conținut :

– primul și al treilea cuvânt (20 de biți), notate cu PLL, conțin câte o secvență de biți care asigură sincronizarea (calarea pe fază) a buclei care asigură

tactul la redare. Lipsa acestui semnal, indică lipsa semnalului AF pe banda magnetică;

– al doilea cuvânt, notat SYNC, conține un semnal care indică începutul blocului.

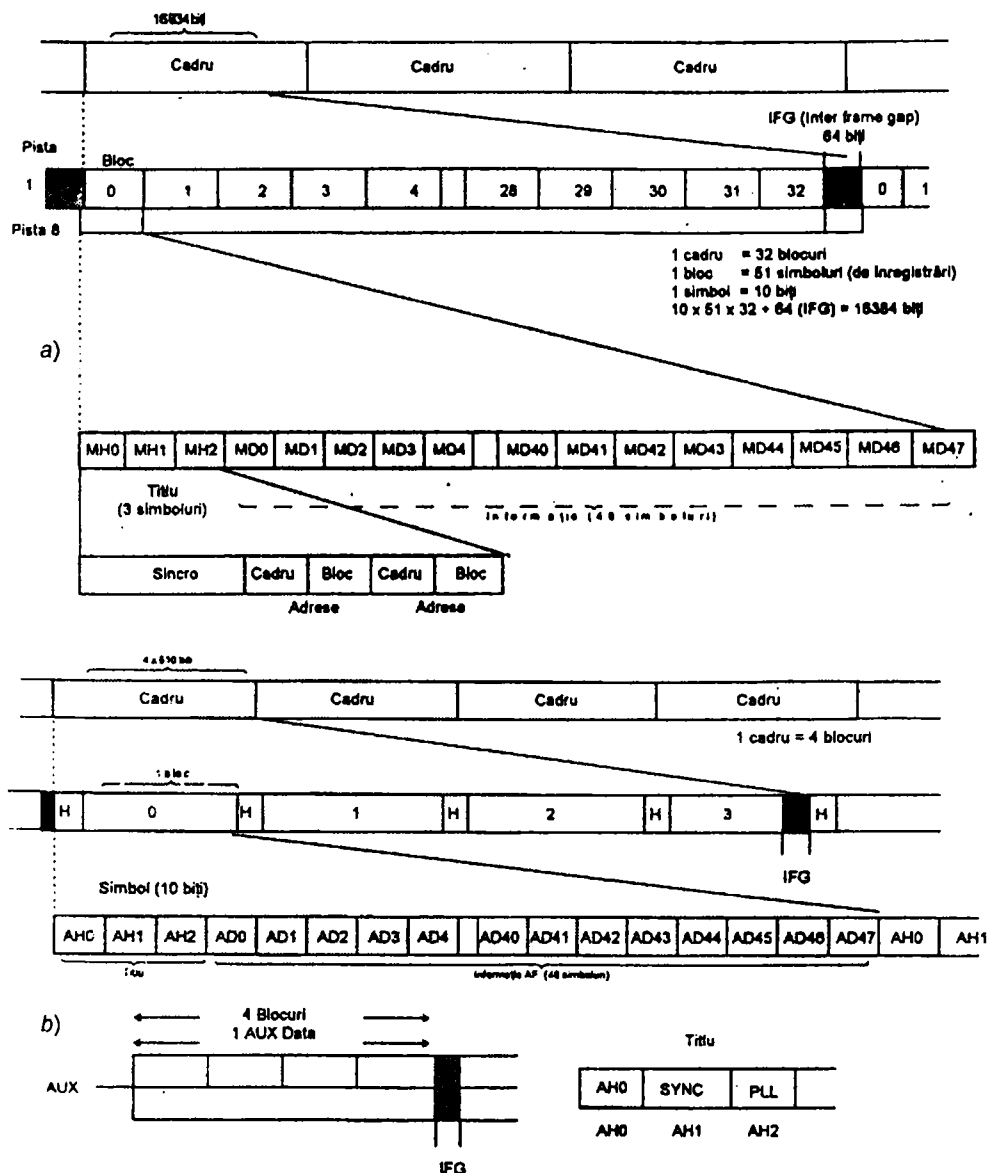


Fig.4.5 Formatul semnalului la înregistrare:
a – informație AF (oricare dintre cele 8 piste cu date AF);
b – informație auxiliară (pista a 9-a).

Restul de 48 cuvinte a câte 10 biți, notate AD 0 ... AD 47, sunt ordonate începând cu cel mai semnificativ bit (MSB) – primul – și terminând cu cel mai puțin semnificativ bit (LSB) – ultimul. Informațiile conținute de aceste cuvinte sunt:

- AD 0 – prima jumătate: biți de valoare zero; a doua jumătate: biți de control al informației;
- AD 1 – biți de marcare a informației;
- AD 2 – numărul pistei;
- AD 3 – număr de index (de înregistrare);
- AD 4 – numărul absolut al cadrului de înregistrare și timpul absolut (ora);
- AD 5 – timpul absolut (minute): zeci și unități;
- AD 6 – timpul absolut (secunde): zeci și unități ;
- AD 7 – numărul cadrului din înregistrare și timpul relativ al înregistrării (ora);
- AD 8 – timpul relativ (minute): zeci și unități;
- AD 9 – timpul relativ (secunde): zeci și unități;
- AD10 ... AD19 – TOC (*Table of Contents* – tablă de materii): lista digitală a conținutului (număr de melodii etc.);
- AD20 ... – alte specificații/ informații specifice: dacă este cazul.

În această zonă este loc și pentru alte informații pentru posibilele aplicații ulterioare ale DCC.

Trebuie menționat aici faptul că deși durata cadrului de date auxiliare este aceeași cu cea a cadrului de date AF (8 ms), numărul blocurilor este de 8 ori mai mic (4 în loc de 32). Rezultă deci că rata biților diferă la cele două tipuri de semnale, raportul între cele două rate fiind de 8/1.

Știind de unde se pleacă și unde trebuie să se ajungă în materie de semnale, se poate trece la descrierea procesării semnalelor și a motivației ei tehnice.

4.2 CONVERSIA ANALOGIC – DIGITALĂ

Această procesare este necesară numai în cazul în care la intrarea casetofonului se aplică un semnal AF de tip analogic. Asupra principiilor acestei conversii nu vom reveni, ele fiind prezentate pe larg în capitolul 2.

Esențial este faptul că, în cazul DCC, semnalul digital inițial se prezintă sub forma unei succesiuni de impulsuri (echivalentul tehnic al biților), ordonate ca în figura 4.2, și este caracterizat de următorii parametri:

- semnalul este obținut prin eșantionarea semnalului analogic cu o frecvență de 48 kHz;
- valoarea fiecărui eșantion este exprimată digital cu ajutorul a 32 biți (32 impulsuri) și este formată din două părți: semnal AF dreapta (R) și semnal AF stânga (L), ambele a câte 16 biți/eșantion;
- frecvența (rata) biților este de 1 536 kbiți/s;
- semnalul nu conține nici o informație suplimentară.

4.3 PRELUCRAREA PASC

Prelucrarea PASC reprezintă partea de procesare specifică tehnicii DCC. Principiile sale au fost prezentate în capitolul 3.

Procesarea PASC constă într-o compresie a informației AF în raport 4/1. Circuitele care asigură procesarea PASC sunt structurate ca în figura 3.14. și ele asigură o succesiune de operații dintre care cele mai importante sunt:

- supraeșantionarea, prin care cuvintele de 16 biți sunt transformate în cuvinte de 24 biți; prelucrarea asigură un zgomot mai redus la redare;
- gruparea semnalului în blocuri de câte 12 eșantioane, a căror durată este de 8 ms;

- separarea fiecărui eșantion de semnal în 32 de subbenzi de frecvență (cu 750 Hz lărgime de bandă);

- compararea valorii eșantionului din fiecare subbandă cu pragul de audibilitate (cel real, care ține seama de fenomenul de „mascare” a sunetelor de intensitate mică în prezența sunetelor de intensitate mare);

- eliminarea eșantioanelor a căror valoare se află sub pragul de audibilitate (pe fiecare subbandă în parte) și alocarea numărului de biți cu care se exprimă valoarea eșantionului păstrat pentru a fi înregistrat;

- exprimarea pentru fiecare subbandă de frecvențe a valorilor celor 12 eșantioane cu ajutorul a două „cuvinte” digitale:

- un cuvânt de 6 biți, valabil pentru cele 12 eșantioane, numit „factor de scală”, care nu este altceva decât valoarea eșantionului de amplitudinea cea mai mare din grup, apreciat într-un sistem absolut de referință cu $2^6 = 64$ nivele de cuantizare;

- un cuvânt de lungime variabilă (numărul de biți alocați pentru exprimarea mărimii eșantionului) care poate avea un număr de 2 la 15 biți. Acesta exprimă mărimea eșantionului într-un sistem în care „factorul de scală” este referința (mărimea maximă);

- adăugarea unor informații suplimentare cu privire la sincronizare etc.;

- gruparea tuturor acestor informații într-un format, după anumite criterii, ajungându-se astfel la semnalul format PASC.

Toate aceste prelucrări ale semnalului sunt efectuate în circuite electronice sofisticate, realizate sub formă de circuite integrate, deci practic inaccesibile (interior) unui electronist amator sau chiar profesionist.

În final, la ieșirea circuitelor de procesare PASC este asigurat semnalul PASC standard a cărui structură este dată în figura 4.6.

Așa cum s-a menționat, prelucrarea AF este realizată pe blocuri (grupări) de informație. Gruparea cea mai mică de semnal, independentă (de sine stătătoare) care conține toate informațiile necesare este cadrul (*frame* – în limba engleză). Ea corespunde unei secvențe AF reale (analogică) de 8 ms (eșantionată cu 48 kHz).

La rândul său, cadrul este divizat în 96 de blocuri sau secvențe (*slot* – în limba engleză), care la rândul lor conțin fiecare câte 32 biți. Situația este redată în figura 4.6, a.

Secvențele (sloturile) care formează un cadru conțin informații diferențiate. Astfel pot fi evidențiate 4 tipuri de secvențe:

- a – secvența (slotul) 1, de 32 biți, conține informații cu privire la sincronizare și frecvența biților: 16 biți de sincronizare, 4 biți de indicare a ratei biților, 2 biți de codificare a informației cu privire la frecvența de eșantionare și 10 biți pentru alte informații (neutilizați deocamdată).

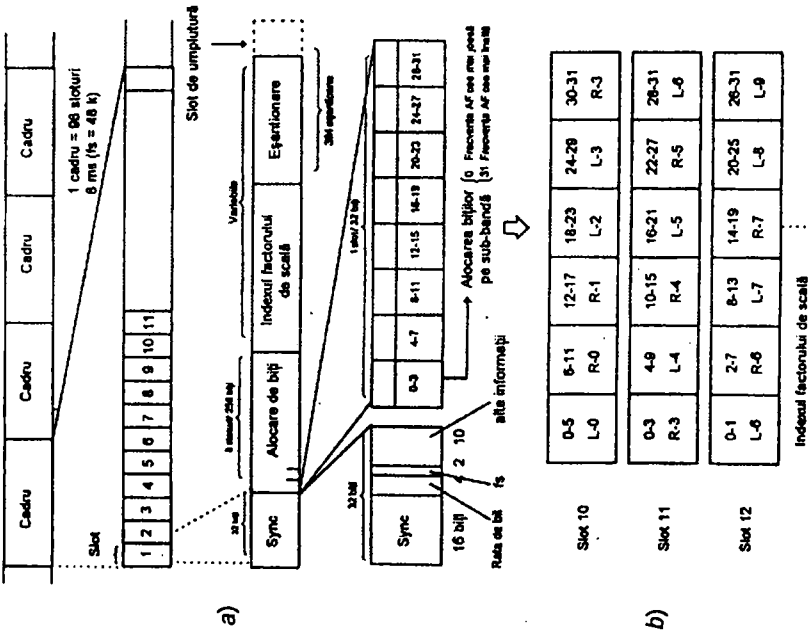


Fig.4.6 Structura semnalului standard procesat PASC (la înregistrare) :
a - ordonarea pe cadre/sloturi/biți; b - ordonarea sloturilor (blocurilor) care
conțin informație cu privire la biții alocați pentru exprimarea valorii
eșantioanelor; c - modul de exprimare a factorului de scală pentru fiecare
subbandă.

Slot 2	0...3 L-0	4...7 R-0	8...11 L-1	12...15 R-1	16...19 L-2	20...23 R-2	24...27 L-3	28...31 R-3
--------	--------------	--------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Slot 3	0...3 L-4	4...7 R-4	8...11 L-5	12...15 R-5	16...19 L-6	20...23 R-6	24...27 L-7	28...31 R-7
--------	--------------	--------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Slot 4	0...3 L-8	4...7 R-8	8...11 L-9	12...15 R-9	16...19 L-10	20...23 R-10	24...27 L-11	28...31 R-11
--------	--------------	--------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Slot 5	0...3 L-12	4...7 R-12	8...11 L-13	12...15 R-13	16...19 L-14	20...23 R-14	24...27 L-15	28...31 R-15
--------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Slot 6	0...3 L-16	4...7 R-16	8...11 L-17	12...15 R-17	16...19 L-18	20...23 R-18	24...27 L-19	28...31 R-19
--------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Slot 7	0...3 L-20	4...7 R-20	8...11 L-21	12...15 R-21	16...19 L-22	20...23 R-22	24...27 L-23	28...31 R-23
--------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Slot 8	0...3 L-24	4...7 R-24	8...11 L-25	12...15 R-25	16...19 L-26	20...23 R-26	24...27 L-27	28...31 R-27
--------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Slot 9	0...3 L-28	4...7 R-28	8...11 L-29	12...15 R-29	16...19 L-30	20...23 R-30	24...27 L-31	28...31 R-31
--------	---------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

c)

b – secvențele 2 ... 9 (256 biți). În aceste secvențe, pe grupuri de câte 4 biți sunt indicați biții alocați pentru exprimarea valorii eşantioanelor (câte 4 biți/subbandă și cale AF).

Structura detaliată a acestor secvențe este dată în figura 4.6,*b*.

c – secvențele cu informații AF. Acestea pot fi o parte dintre secvențele (sloturile) 10 ... 32, sau chiar toate în cazul cantității maxime de informație.

Informația, așa cum s-a menționat deja, este exprimată cu ajutorul a două coduri. Un cod de 6 biți care indică „factorul de scală”, valoarea maximă a eşantioanelor din cadru într-o anumită bandă (figura 4.6,*c*) și gruparea de biți care dă cu ajutorul numărului de biți alocați (figura 4.6,*b*) valoarea relativă a eşantionului față de factorul de scală.

În cazul în care informația reală nu ocupă tot spațiul alocat (situație frecventă în practică) spațiul rămas neocupat este acoperit cu secvențe de umplură (*dummy slot*, în limba engleză);

d – secvențe de umplură despre care a fost vorba mai sus, și care nu conțin informație.

Acest format PASC reprezintă forma comprimată a semnalului de AF.

Numărul biților dintr-un cadru PASC este:

96 secvențe x 32 biți = 3072 biți, durata unui cadru fiind 8 ms, rezultă o rată a biților de :

$$3\,072 \times \frac{10^3}{8} = 384 \text{ kbiți/s.}$$

Comparând cu rata biților a semnalului inițial de 1 536, rezultă factorul de compresie impus, de 4/1 la prelucrarea PASC.

4.4 PROCESAREA SEMNALELOR PENTRU ÎNREGISTRAREA PE BANDĂ MAGNETICĂ

Pentru a ajunge la formatul necesar la înregistrare (figura 4.5) semnalul AF digital comprimat PASC (figura 4.6) trebuie să mai suporte o serie de prelucrări.

Cele mai importante dintre acestea sunt următoarele:

- codarea pentru asigurarea protecției semnalului redat împotriva erorilor;
- modularea ETM (*Eight to Ten Modulation* – modulație opt la zece);
- separarea semnalului AF pe 8 căi și punerea sa în forma necesară la înregistrare.

Schema bloc generală a prelucrărilor pentru înregistrare este dată în figura 4.7.

Primele două procesări presupun o multiplicare a numărului biților, prin introducerea unor informații suplimentare, iar ultima procesare implică reducerea ratei biților pe fiecare cale în raportul 1/8 .

4.4.1 CODAREA PENTRU ASIGURAREA PROTECȚIEI SEMNALULUI ÎNREGISTRAT ÎMPOTRIVA ERORILOR

La redarea benzilor magnetice este foarte posibil să apară mici „accidente” fie datorită benzii magnetice (*dropout*), fie datorită sistemului de citire, acestea ducând la întreruperea sunetului pentru o scurtă perioadă de timp. Efectul întreruperii este perceput la audiție ca o perturbație audio foarte supărătoare.

Pentru eliminarea acestor neajunsuri și asigurarea unei calități ridicate a redării sunetului, în tehnica DCC se folosește același sistem sofisticat de codare ca și la CD. Metoda este complexă, fiind utilizată numai în condițiile folosirii unor circuite cu grad foarte mare de integrare (LSI – *Large Scale Integration*).

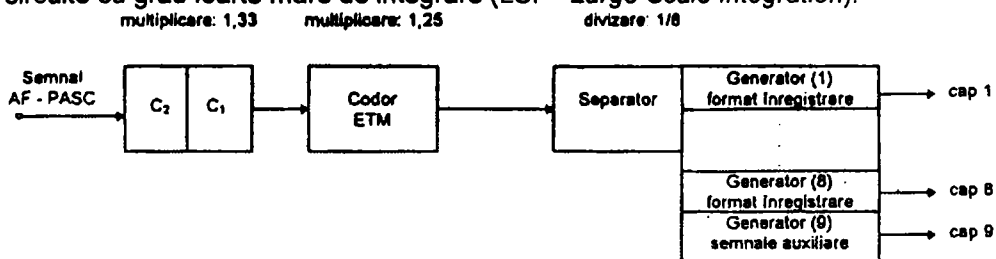


Fig.4.7 Schema bloc a circuitelor pentru procesarea semnalelor la înregistrare.

În literatura tehnică de specialitate, această codare este cunoscută sub numele prescurtat de CRCC (*Cyclic Redundancy Check Code* – aproximativ: cod ciclic cu verificare redundantă).

Varianta practică de codare CRCC folosită în tehnica DCC este cunoscută sub numele de CIRC (*Cross Interleaved Reed Solomon Code* – cod Solomon cu intercalare încrucișată). Subliniem faptul că această soluție tehnică este aceeași cu cea folosită în cazul CD.

Codarea, respectiv decodarea CIRC sunt practic inaccesibile utilizatorului, depanatorului, proiectantului și chiar fabricantului de casetofoane digitale, operațiunile fiind executate de niște circuite integrate complexe, al căror „secret intim” este în general bine păstrat de către fabricant. Utilizatorul percepe codorul (respectiv decodorul) ca pe o „cutie neagră” care asigură la terminalele sale o serie de funcții.

Schema bloc a circuitelor de codare CIRC utilizată în tehnica DCC este dată în figura 4.8.

Datorită complexității procesării cât și a inaccesibilității la structura intimă a circuitelor, ne vom mulțumi să marcăm numai principalele sale caracteristici:

- Codarea CIRC se realizează în două etape, cu ajutorul a două codoare, cu grad diferit de protecție la erori. Ele sunt notate cu C_2 (primul în ordinea procesării la codare) și C_1 .

- La intrarea codorului CIRC se aplică semnalul standard PASC.

- Șirul de biți care constituie semnalul PASC este grupat în cuvinte de câte 8 biți, aceasta fiind unitatea (cuvântul de 8 biți) de informație utilizată în continuare în procesul de codare/ decodare CIRC. Pentru procesarea ulterioară se folosesc grupări de câte 24 cuvinte a 8 biți (indiferent de sensul și conținutul informației primare). Această grupare (bloc de semnale de 24 cuvinte x 8 biți) este stocat în memoria RAM a codorului CIRC.

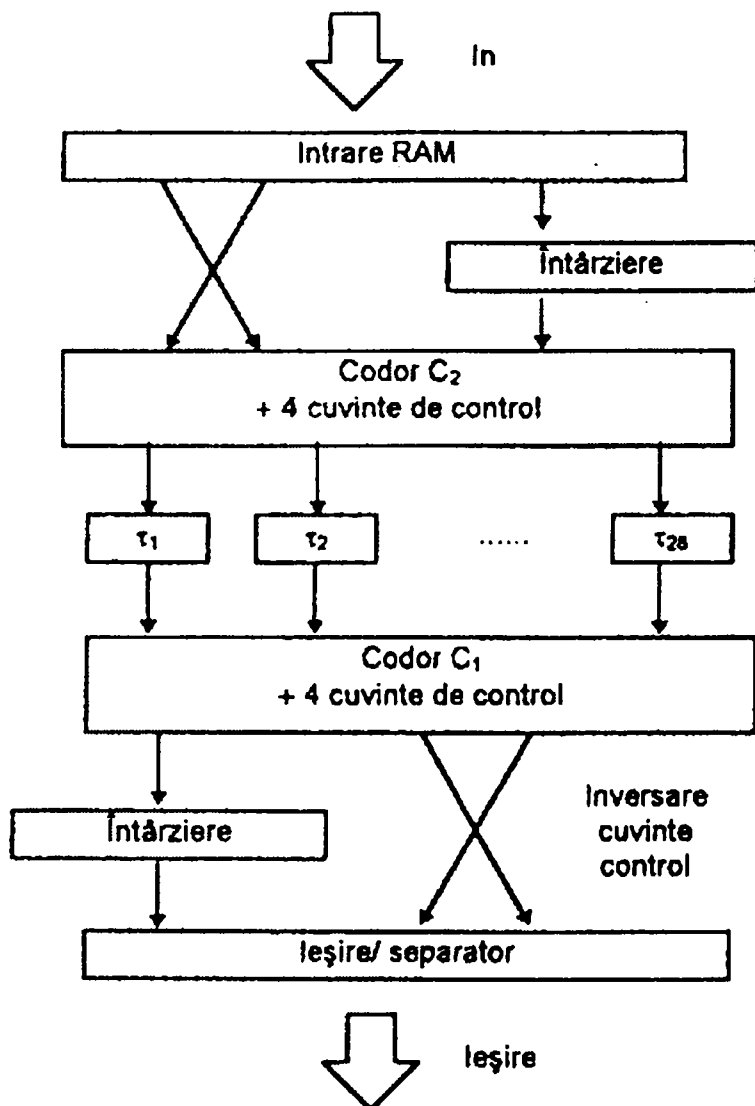


Fig.4.8 Schema bloc a procesorului CIRC utilizat în tehnica DCC.

– Prima procesare specifică a codorului este „amestecarea” cuvintelor (*Scrambling* – în limba engleză). Operațiunea constă în întârzierea cuvintelor pare cu 16 biți și schimbarea (amestecarea) conectărilor la intrarea codorului C_2 .

– Codorul C_2 generează 4 cuvinte de control de câte 8 biți pe care le inserează între cele 24 cuvinte inițiale, la ieșirea sa apărând astfel 28 de cuvinte a câte 8 biți.

– Între codorul C_2 și codorul C_1 sunt conectate o serie de linii de întârziere de durate diferite, dar bine determinate, generând astfel o întârziere a datelor, ceea ce face ca semnalele de la ieșirea codorului C_1 să aibă o structură aleatoare (*random pattern*).

– Urmează codarea asigurată de codorul C_1 . Acesta generează 4 noi cuvinte de câte 8 biți, aducând numărul de cuvinte al grupării la 32 (fiecare a câte 8 biți).

– După codarea C_1 este inserată o nouă întârziere de 8 biți între cuvintele pare, iar cuvintele de control introduse de cele două codoare sunt inversate. Rezultă astfel la ieșire un grup de 32 cuvinte a 8 biți, care aparent n-au nici o legătură cu cuvintele de la intrare.

Prin introducerea celor 8 cuvinte suplimentare de control rata biților semnalului crește în raportul 4/3 (cu 1,33), însă în același timp crește semnificativ protecția la redare a semnalului în ceea ce privește erorile de citire.

4.4.2 CODAREA ETM

Codarea, sau modularea digitală ETM (opt la zece) este necesară în vederea obținerii unui semnal final la înregistrare cu o anumită densitate a impulsurilor „unu” față de impulsurile „zero” (lipsa de semnal) din considerentele arătate la paragraful 4.1.2.

Reamintim că pentru a se asigura cele două condiții necesare semnalului NRZI de la înregistrare, și anume: să nu existe un șir mai mare de 10 valori succesive „zero” și să nu existe două valori de „unu” alăturate, semnalele digitale trebuie să suporte o codare ETM care constă în înlocuirea cuvintelor de 8 biți cu cuvinte de 10 biți.

Procesarea este foarte asemănătoare cu cea utilizată în tehnica CD, codarea EFM (*Eight to Fourteen Modulation* – modulație 8 la 14), cu deosebirea evidentă că lungimea cuvintelor la ieșire este mai mică (10 biți, în loc de 14 biți). În cazul ETM rata biților crește în proporția $10/8 = 1,25$ (față de $14/8 = 1,75$ în cazul EFM).

Codarea ETM constă într-o aparent simplă înlocuire de 8 biți cu cuvinte de 10 biți, care îndeplinesc cele două condiții care asigură densitatea impusă a semnalelor „unu” față de semnalele „zero”.

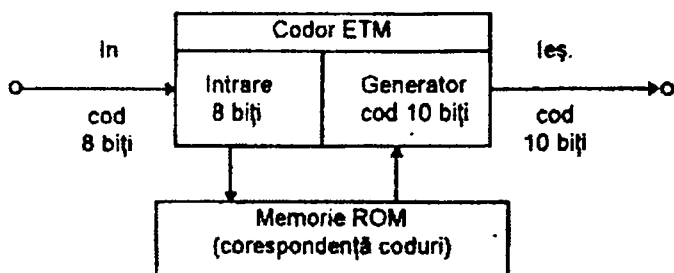


Fig.4.9 Schema bloc a codorului ETM.

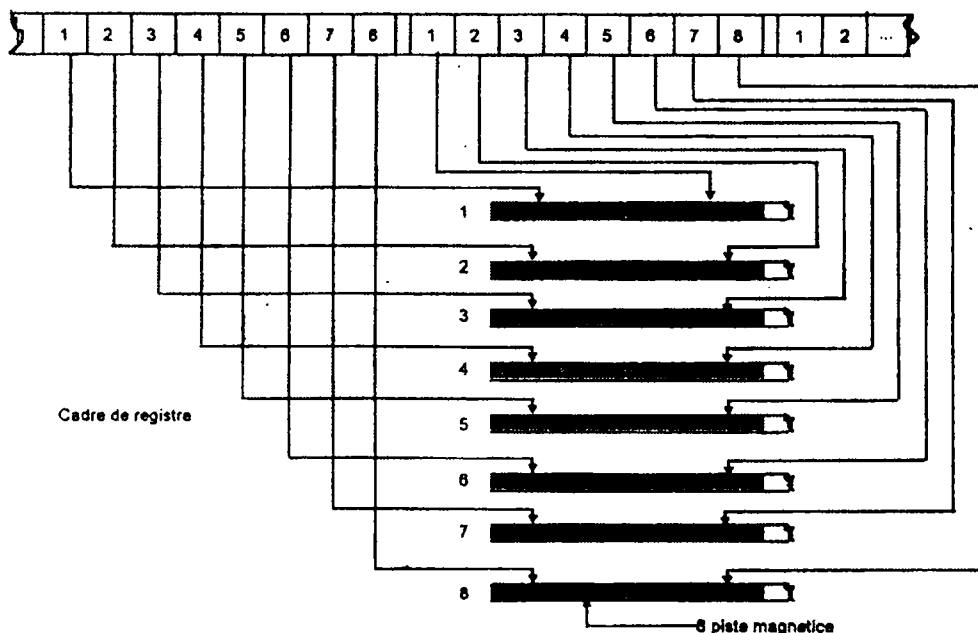


Fig.4.10 Separarea celor 8 căi de ieșire a semnalelor AF pentru înregistrare.

Procesarea este realizată într-un montaj a cărui schemă bloc este dată în figura 4.9. La intrarea codorului se aplică semnalele digitale formate din cuvinte de 8 biți (indiferent de conținutul lor informațional). La ieșire sunt asigurate cuvintele de câte 10 biți care îndeplinesc condiția impusă densității impulsurilor „unu”.

Correspondența cod (cuvânt) de 8 biți – cod (cuvânt) de 10 biți este biunivoc determinată și este memorată într-o memorie ROM inclusă în codorul (decodorul) ETM.

4.4.3 SEPARAREA SEMNALULUI AF PE 8 CĂI ȘI ADUCEREA SA LA FORMA NECESARĂ LA ÎNREGISTRARE

Separarea semnalului AF codat ETM pe 8 căi se realizează digital prin divizarea semnalului global, modulat ETM, în câte 8 secvențe egale; apoi fiecare dintre ele este exprimată (rata biților scade) în raportul 1/8 și formată corespunzător semnalului necesar la înregistrare.

Schema de principiu a prelucrării este dată în figura 4.10. Dintr-un semnal AF digital cu un caracter continuu, prin prelucrare, se obțin deci cele 8 semnale digitale simultane necesare înregistrării pe cele 8 piste paralele cu semnal AF. În plus, același circuit generează și semnalul digital auxiliar care conține informații strict necesare prelucrărilor de la citire și redare.

PROCESAREA SEMNALELOR AF DIGITALE LA REDARE

Procesarea semnalelor AF digitale la redare într-un casetofon digital este un proces complementar (în oglindă) al procesării semnalelor la înregistrare.

Acest fapt este evidențiat și de schema bloc generală din figura 4.1. La fel ca și în cazul înregistrării sunt trei etape mari de procesare:

- procesarea semnalului „citit” la redare;
- decodarea PASC;
- refacerea semnalului analogic (prin conversie digital-analogică).

5.1 PROCESAREA SEMNALULUI DE LA „CITIRE”

Semnalul inițial (de la care se pleacă) în cazul redării este cel „citit” de către capul magnetic, de pe banda conținută în caseta digitală (DCC).

Schema bloc a procesării semnalelor la redare, plecând de la semnalul inițial, până la faza de semnale PASC este dată în figura 5.1.

În cele ce urmează vor fi descrise cele mai importante faze ale procesării.

5.1.1 CITIREA SEMNALELOR ÎNREGISTRATE

Trebuie să reamintim faptul că semnalul folosit la înregistrare este de tip NRZI, la care valoarea „unu” este reprezentată de frontul impulsurilor, iar valoarea „zero” de palierul impulsurilor (indiferent de valoarea lor).

Relativ la formatul semnalului NRZI folosit la înregistrare trebuie reamintit și faptul că îndeplinește condiția ca între două valori succesive „unu”, totdeauna să fie intercalate minimum unul și maximum 10 valori „zero”, condiție care face ca frecvența maximă a semnalului înregistrat să fie mai mică (maximum 1/2) decât frecvența maximă a biților semnalului digital corespunzător.

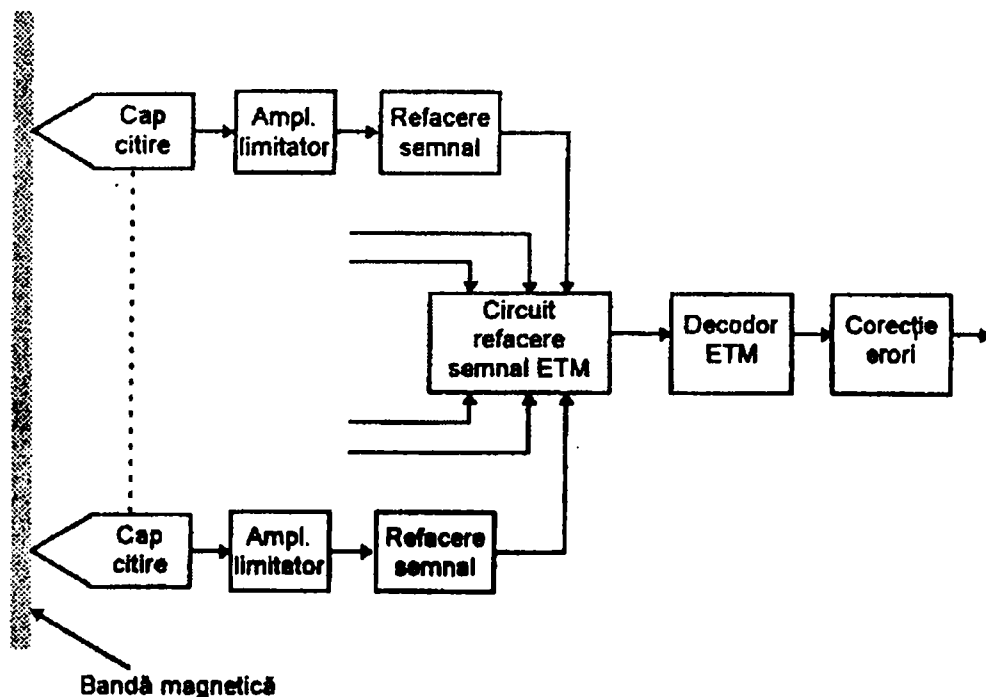


Fig.5.1 Schema bloc a circuitelor de procesare a semnalelor la redare.

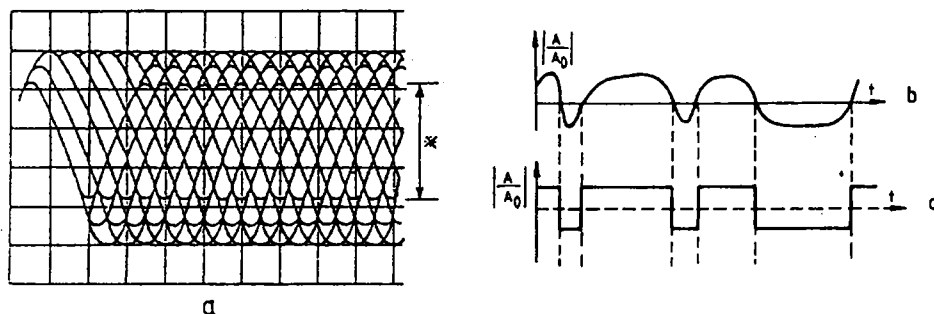


Fig.5.2 Forma semnalelor „citite” de pe banda magnetică:

a – oscilograma semnalului citit de capul magnetic; b – forma semnalului „citit” (semnalul de RF);
c – semnalul NRZI cu fronturi refăcute.

Acest format al semnalului este obținut prin codare ETM și face ca semnalul înregistrat să fie constituit practic dintr-un număr finit de componente de frecvență fixă (în raport fix): f_0 , $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$ etc. Din acest motiv, oscilograma semnalului „citit” la redare are forma din figura 5.2,a care nu este altceva decât suprapunerea mai multor secvențe ale semnalului citit, secvențe de durata perioadei de baleiere orizontale a osciloscopului.

Trebuie remarcat aici că oscilograma semnalului citit de către capul magnetic în cazul DCC are aceeași formă cu oscilograma semnalului „citit” optic de pe CD, semnalul digital original fiind procesat asemănător (codare ETM în cazul DCC și codare EFM în cazul CD).

În figura 5.2,b este dat un exemplu de formă de semnal „citit” de către un cap magnetic de pe banda înregistrată. Este un exemplu de semnal posibil, cu mențiunea că frecvența (perioada) sa poate varia în pași între o frecvență minimă (densitate minimă admisă de „unu”) și o frecvență maximă (densitate maximă admisă de valori „unu”).

Datorită limitărilor în frecvență ale sistemului bandă-cap, semnalul „citit” (figura 5.2,b) este departe de forma semnalului NRZI de la înregistrare, fronturile având durată relativ mare de creștere (respectiv cădere), iar alura „rotunjită” a formei semnalului făcându-l să fie mai apropiat ca aspect de semnalul sinusoidal, decât de o succesiune de impulsuri (NRZI).

Din acest motiv, prima prelucrare pe care o suferă semnalul citit este „refacerea semnalului NRZI de la înregistrare”.

5.1.2 REFACEREA SEMNALULUI NRZI

Operațiunea în sine, la o privire superficială, pare banal de simplă. Principiul ei este redat în figura 5.3.

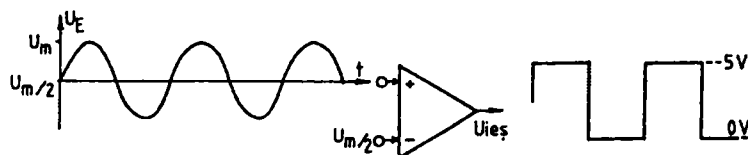


Fig.5.3 Principiul refacerii semnalului digital din semnalul „citit” de capul magnetic.

Unui amplificator operațional i se aplică la intrarea neînversoare semnalul de tip analogic citit de către capul magnetic. La intrarea înversoare se fixează un nivel de tăiere la jumătatea amplitudinii maxime a semnalului analogic. Datorită amplificării foarte mari a montajului, semnalul de la ieșire va avea fronturi abrupte și va varia ca nivel între nivelul de referință (zero) și nivelul maxim (valoarea tensiunii de alimentare – uzual 5 V). Nivelul de referință al semnalului fixat la 1/2 din valoarea maximă asigură sincronismul semnalului digital cu cel analogic (citit).

În practică lucrurile sunt ceva mai diferite. Cu toate că în timpul prelucrării digitale a semnalelor pentru înregistrare s-au luat măsuri pentru ca valoarea de referință a semnalului NRZI să fie nulă (componenta continuă pe care se axează) sau cât mai apropiată de zero, condiția nu este strict asigurată tot timpul, așa încât apare o fluctuație a axei sale în timp.

Variația respectivă are drept consecință o decalare fluctuantă în timp a semnalului digital refăcut, ceea ce duce la o lipsă de sincronizare care poate provoca distorsionarea informației. Din acest motiv, este foarte important ca în fiecare moment să fie refăcută axa mediană a semnalului, adică să fie stabilit nivelul jumătății amplitudinii sale, care marchează cu exactitate frontul semnalului NRZI.

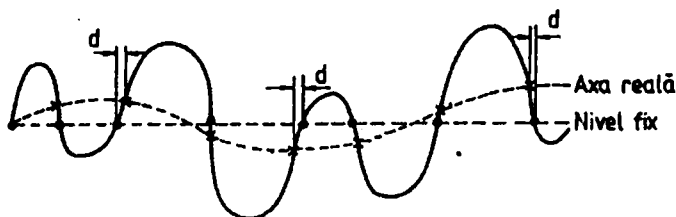


Fig.5.4 Decalarea în timp a semnalelor digitale datorită fluctuației axei semnalului.

În figura 5.4 este dată o situație reală în care axa semnalului are fluctuație față de valoarea fixă a amplitudinii sale. Axa reală intersectează semnalul „citit” în punctele marcate cu „x”, diferite de punctele de intersecție ale semnalului cu axa fixă. Între pozițiile celor două intersecții apar mici decalaje în timp, notate d , care pot provoca falsificarea (distorsionarea) semnalului digital.

Pentru evitarea acestui fenomen nedorit, la refacerea semnalului digital NRZI este folosit un circuit a cărui schemă de principiu este dată în figura 5.5, a.

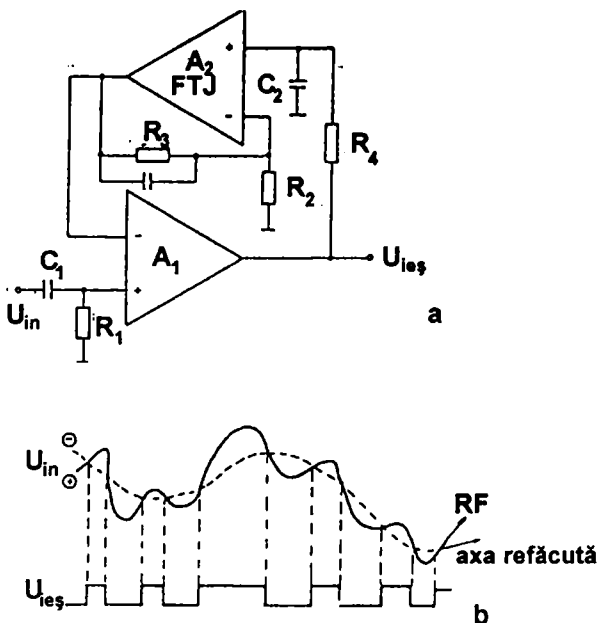


Fig.5.5 Sistem de refacere a semnalului NRZI din semnalul „citit”:

a – schema de principiu; b – poziționarea frontului impulsului NRZI cu ajutorul axei refăcute.

În acest caz, elementul care asigură referința axei semnalului este un filtru activ de tip trece jos, realizat cu amplificatorul operațional A_2 . Semnalul de la ieșirea amplificatorului A_1 este integrat cu ajutorul circuitului (R_4 , C_2) și aplicat la intrarea neinversoare a amplificatorului A_2 , care constituie un filtru activ trece jos (R_3 , C_3). Semnalul de la ieșirea A_2 constituie acum axa de referință a semnalului „citit”.

Astfel, la intrarea neinversoare a amplificatorului A_1 se aplică semnalul „citit”, iar la intrarea inversoare – semnalul care constituie axa de referință.

La ieșirea A_1 este asigurat semnalul digital NRZI real, în sincronism cu semnalul folosit la înregistrare. Situația este reprezentată în figura 5.5,b, unde variația axei semnalului a fost exagerată, tocmai pentru a pune mai bine în evidență principiul de lucru al montajului.

Semnalul NRZI refăcut pe baza procesării semnalului „citit” este reprezentat în figura 5.2,b.

5.1.3 REFACEREA SEMNALULUI DIGITAL CLASIC

Următorul pas al prelucrării constă în refacerea semnalului digital original, la care valoarea „unu” este reprezentată de un impuls pozitiv (cu două fronturi) iar valoarea „zero” de valoarea minimă (uzual chiar zero) a semnalului.

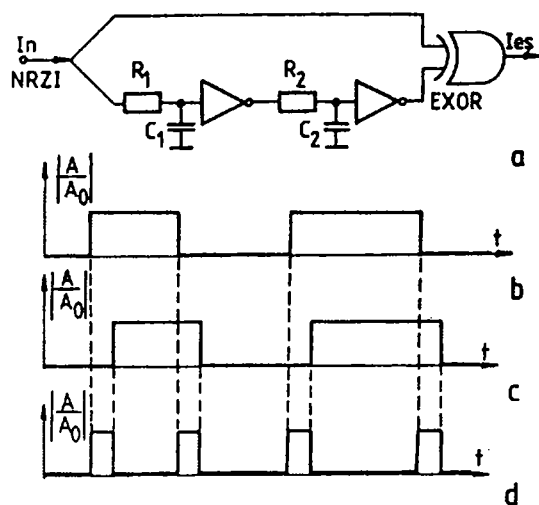


Fig.5.6 Refacerea semnalului digital plecând de la semnalul NRZI:

a – schema bloc a circuitului; b – semnalul NRZI;
c – semnalul NRZI întârziat; d – semnalul digital refăcut.

intrarea unui circuit SAU Exclusiv (EXOR).

Forma semnalului NRZI este dată în figura 5.6,b. Același semnal este întârziat cu ajutorul a două celule RC ($R_1 C_1$, respectiv $R_2 C_2$) cu o constantă de timp egală cu jumătate din perioada corespunzătoare frecvenței biților (rata biților) și aplicat la cea de a doua intrare a circuitului EXOR. Forma semnalului NRZI întârziat este dată în figura 5.6,c. La ieșirea circuitului SAU Exclusiv se obține semnalul digital original, care la înregistrare a stat la baza generării semnalului NRZI.

Pentru cei mai puțin acomodați cu circuitele logice, amintim că un circuit SAU Exclusiv (EXOR) este circuitul care asigură nivel „unu” la ieșire numai în cazul

Refacerea semnalului digital este realizată cu un lanț de circuite a cărui schemă bloc este dată în figura 5.6,a.

În cele ce urmează ne vom ocupa numai de principiul refacerii semnalului digital clasic, utilizând pentru aceasta semnalul NRZI. Din acest motiv se folosește schema simplificată din figura 5.6,a. În realitate, lucrurile sunt mult mai complicate, circuitele de refacere făcând parte dintr-un lanț multifuncțional de circuite integrate care asigură și multe alte funcțiuni necesare procesării semnalelor NRZI (de exemplu sincronizarea cu semnalul de tact etc.).

Semnalul NRZI refăcut din semnalul citit este aplicat la

În care la una dintre intrări se aplică un semnal „unu” și la cealaltă semnal „zero” (nivelul de ieșire este „zero” în cazul în care la cele două intrări se aplică simultan același semnal – fie „zero”, fie „unu”). Cunoșcând funcționarea circuitului EXOR se poate explica forma semnalului digital refăcut din semnalul NRZI, prin compararea semnalelor din figurile 5.6,b și 5.6,c. Forma sa este dată în figura 5.6,d.

În continuare, semnalele digitale de tip clasic corespunzătoare celor 8 piste de înregistrare sunt reunite pentru a se putea reconstitui semnalul AF digital (codat ETM). Schematic procesarea este reprezentată în figura 5.7.

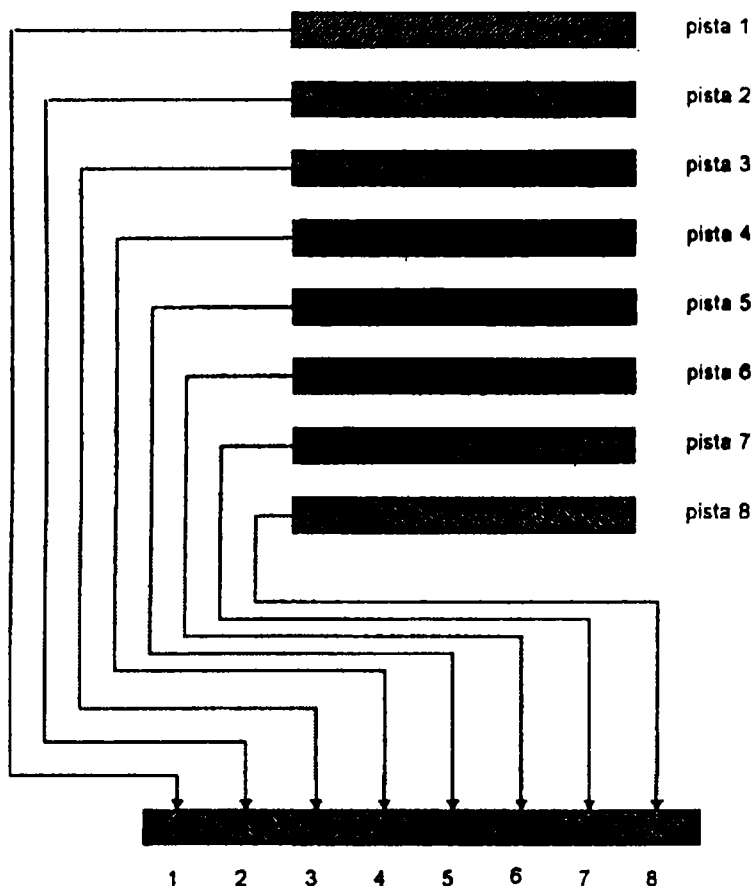


Fig.5.7 Operațiunea de refacere a semnalului AF digital ETM prin inserierea secvențelor simultane ale semnalelor provenite de la fiecare pistă (cu o frecvență a biților multiplicată cu 8).

Semnalele simultane, refăcute, provenite de la fiecare pistă sunt comprimate în timp (citite cu o viteză de 8 ori mai mare decât cea a prelucrărilor de la citire) și eșalonate succesiv, pentru a se reconstitui semnalul digital codat ETM, care la înregistrare a fost separat pe 8 căi în vederea înregistrării simultane pe 8 piste. La ieșirea circuitului de refacere este prezent semnalul ETM original, de la înregistrare.

La toate aceste procesări pentru sincronizare s-a folosit semnalul înregistrat pe cea de a 9 -a pistă, semnal generat chiar în vederea acestei funcții.

5.1.4 DECODAREA ETM

Așa cum s-a menționat la descrierea procesării de la înregistrare, codarea ETM a constituit una dintre măsurile luate pentru a se asigura un semnal NRZI de o anumită formă.

La redare, codarea ETM a fost necesară în fazele de citire și refacere a semnalului NRZI.

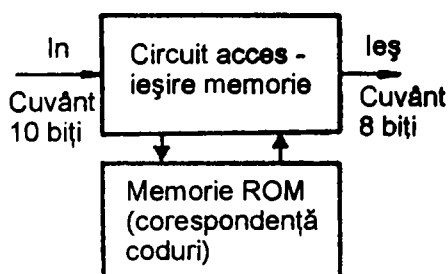


Fig.5.8 Schema bloc a decodului ETM.

La baza funcționării decodului stă memoria ROM care conține tabelul de corespondență a cuvintelor de 10 biți cu cele de 8 biți (inițiale). Corespondența este aceeași cu cea din memoria codului iar la ieșire cuvintele de 8 biți sunt semnale digitale convenționale, forma lor (succesiunea și numărul de „unu” sau „zero”) nefiind afectată de vreo restricție.

Odată cu obținerea semnalului digital de tip clasic, în care fiecare bit este exprimat printr-o valoare a impulsului („unu” sau „zero”) se trece la decodarea ETM. Aceasta constă în operațiunea inversă codării. Ea este o procesare logică de stabilire a corespondenței cuvânt de 10 biți (ETM) – cuvânt de 8 biți. Schema bloc de principiu a decodului ETM este dată în figura 5.8.

La baza funcționării decodului stă memoria ROM care conține tabelul de corespondență a cuvintelor de 10 biți cu

5.1.5 DECODAREA CIRC ȘI CORECTAREA ERORILOR

La paragraful 4.4.1 au fost enumerate principalele motive ale codării CIRC cât și principiile sale. S-a menționat deja faptul că această procesare este complexă și nu poate fi realizată decât cu ajutorul unor circuite integrale LSI ale căror scheme electrice fabricanții le țin secrete. De asemenea, s-a menționat și faptul că în mod practic utilizatorul nu are acces la procesul de decodare propriu-zis. Din acest motiv ne vom menține la același nivel de informație generală ca și în cazul descrierii procesării la înregistrare.

Decodarea presupune parcurgerea inversă a procesării de la codare, semnalul parcurgând întâi decodul C_1 și apoi decodul C_2 . Reamintim că erorile care pot să apară pot fi clasificate în două mari categorii:

- erori întâmplătoare (datorate zgomotelor care apar suprapuse peste semnal);
- erori de sincronizare, care au un caracter continuu (datorate de exemplu unor defecțiuni ale benzii magnetice).

Ambele tipuri de erori sunt detectate și corectate (până la un anumit nivel) de către cele două decodare corectoare de erori.

La redare corectorul C_1 poate detecta și chiar corecta erorile unui bloc de semnale înregistrate.

El poate corecta maximum 4 erori (4 valori de eşantioane) pe cadru. Toate erorile necorectate ale semnalului sunt semnalate corectorului (decodului) C_2 , indicând lipsa simbolului respectiv însă fără a indica și valoarea sa.

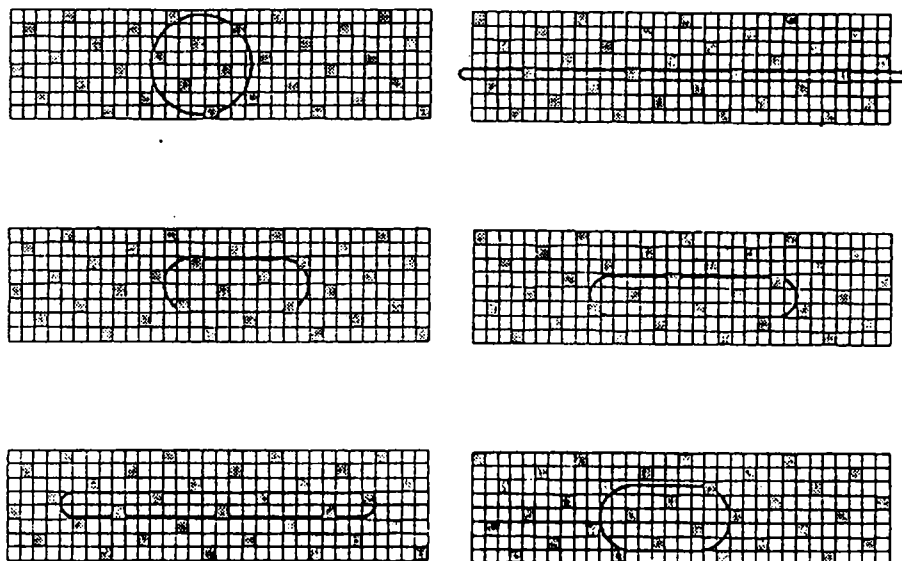


Fig. 5.9 Forma suprafețelor de pe care lipsesc simbolurile, pe care corectorul C_2 le poate corecta.

Maximum de corecție asigurat de către corectorul C_2 este de 6 erori pe cadru. Din poziționarea cuvintelor de control, corectorul C_2 reușește să corecteze toate erorile datorate unor distrugerii ale benzii (dropouturi) cu diametrul mai mic de 1,45 mm. Sistemul compensează chiar dropouturi mai largi (de alte forme) cu condiția ca numărul de simboluri lipsă să fie de maximum 6. În figura 5.9 sunt date ca exemplu 6 situații în care corectorul C_2 asigură corecția erorii. În fiecare situație, numărul de erori (lipsă simbol) este 6 – maximum de corecție posibil pentru C_2 .

În practică apar situații în care sistemul de corecție nu mai este eficient, numărul cuvintelor eronate fiind mai mare decât posibilitățile sale de corecție. În acest caz, cuvintele eronate sunt totuși marcate iar informația eronată este eliminată ulterior prin alte metode. Dintre acestea, cele uzuale sunt următoarele:

Muting

Metoda constă în blocarea căii de sunet pe durata informației eronate. Situația este redată în figura 5.10,a.

Metoda nu este în general agreată, deoarece efectul sonor este asemănător cu cel provocat de *dropout*-ul de la sistemele audio clasice (analogice), percepându-se ca o întrerupere de scurtă durată a sunetului. În orice caz, efectul produs de *muting* este mai puțin supărător decât efectul sonor produs într-un sistem DCC de către o eroare necorectată.

În exemplul din figură, eroarea necorectată este localizată în eșantionul d . Din acest motiv, este eliminat întreg cuvântul eronat, care exprimă valoarea eșantionului, acesta devenind „zero”. În practică uzual apar cazuri când prin această metodă sunt eliminate chiar mai multe cuvinte (eșantioane) alăturate, efectul sonor fiind cu atât mai neplăcut.

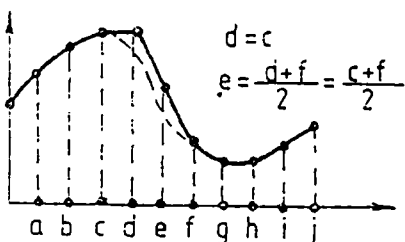
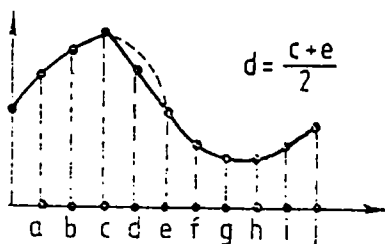
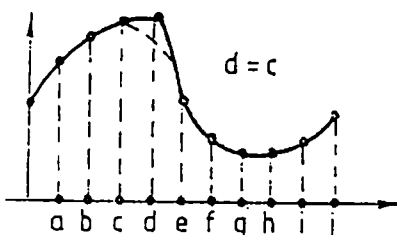
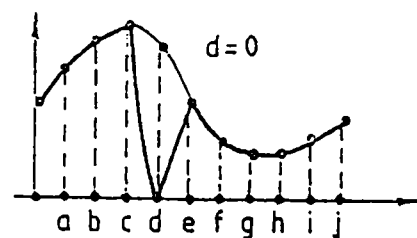


Fig.5.10 Metode de eliminare la redare a erorilor necorectate de decodorul CIRC:

a – muting; b – păstrarea valorii precedente;
c – interpolare; d – păstrarea valorii eşantionului precedent şi interpolare.

au drept corespondente două cuvinte eronate. Din acest motiv, primul eşantion eronat, d este eliminat şi înlocuit cu valoarea eşantionului precedent, c . Al doilea eşantion eliminat, e , este înlocuit cu media aritmetică a eşantioanelor care îl încadrează, d (adică c) şi f .

Practic aceste metode de eliminare a erorilor corespund unor defecte (dropout un) ale benzii magnetice a căror suprafaţă depăşeşte o suprafaţă circulară echivalentă cu diametrul mai mare de 1,45 mm.

Păstrarea valorii eşantionului precedent

Acest mod de corecţie constă în a acorda eşantionului (cuvântului digital) care conţine eroarea necompensată, valoarea eşantionului precedent. Situaţia este exemplificată în figura 5.10, b.

Ca şi în cazul precedent, eroarea este localizată tot în eşantionul d . Valoarea sa (eronată) este eliminată, eşantionului d atribuindu-i-se valoarea eşantionului c .

Operaţia este simplă, ea presupunând o simplă memorare a cuvântului (eşantionului) c şi transmiterea sa în locul cuvântului detectat ca eronat şi deci eliminat.

Interpolare liniară

Teoretic, cât şi practic această metodă asigură cea mai bună aproximare a valorii eronate.

Situaţia este exemplificată în figura 5.10, c.

Metoda presupune o memorare şi o întârziere a redării obţinute cu un registru de deplasare. În locul eşantionului d detectat ca fiind eronat se va reda un eşantion a cărui valoare este media valorilor eşantioanelor alăturate, c şi e .

Păstrarea valorii eşantionului precedent şi interpolarea valorii

Metoda este exemplificată în figura 5.10, d şi este aplicabilă în cazul redării succesive a două cuvinte eronate. În exemplul din figură eşantioanele succesive d şi e

5.2 DECODAREA PASC

La sfârșitul decodării și corectării CIRC, semnalul (din care s-au extras cuvintele cheie introduse la codarea CIRC) este semnalul format PASC, organizat pe blocuri de semnal numite cadru, de durată 8 ms. Formatul său a fost descris în paragraful 4.3 și este dat în figura 4.6. Plecând de la acest format trebuie să se ajungă la semnalul AF digital original parcurgând – invers de data aceasta – tot lanțul de procesare PASC/ decompresie PASC.

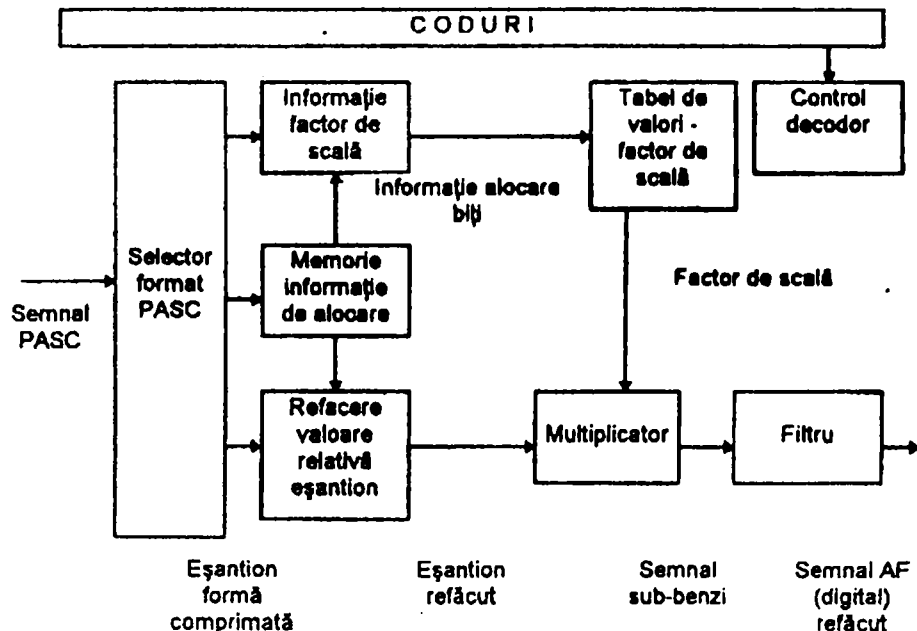


Fig.5.11 Schema bloc a decodului PASC.

Schema bloc a decodului PASC este dată în figura 5.11.

La intrarea decodului se aplică semnalul PASC al cărui format și conținut le considerăm cunoscute, iar la ieșire se obține semnalul de AF digital al cărui format este de asemenea cunoscut, el fiind descris în paragraful 4.1.

Semnalul AF digital de la ieșire se prezintă ca o succesiune de cuvinte de câte 32 biți (16 biți – AF dreapta, 16 biți – AF stânga) fiecare corespunzător valorii eșantionului redat.

Nu insistăm asupra procesării intime deoarece aceasta oricum nu este accesibilă utilizatorului, ea realizându-se într-unul sau în mai multe circuite integrate de mare complexitate, iar schema bloc din figura 5.11 considerăm că este suficient de sugestivă pentru a marca toate etapele decodării PASC.

Subliniem faptul că semnalul AF digital refăcut, de la ieșire, deși aproximează foarte bine semnalul digital AF de la intrare, nu este identic totuși cu acesta, din el fiind eliminate în urma procesării PASC informațiile inutile – cele referitoare la eșantioanele plasate sub prag de audibilitate.

5.3 CONVERSIA DIGITAL – ANALOGICĂ

Conversia digital-analogică este ultima procesare suferită de semnalul AF digital. În urma acestei procesări, semnalul digital format dintr-un flux de impulsuri care exprimă biții informației, și care este caracterizat de o rată a biților de 1 536 kbiți/s este transformat într-un semnal AF analogic, cu caracteristici cunoscute.

Principiile conversiei digital-analogice au fost descrise în paragraful 2.3 unde au fost descrise și principalele sale caracteristici generale.

În cele ce urmează vom încerca să evidențiem câteva aspecte legate de practica conversiei A/D, care se reflectă în soluțiile tehnice utilizate pentru realizarea acestei procesări.

În tehnica procesării digitale AF, conversia A/D se bucură de o atenție deosebită, deoarece ea condiționează strict calitatea semnalului AF refăcut. Degeaba lanțul de procesare digitală extrem de complicat și ultracontrolat de microprocesoare asigură performanțe profesionale, dacă ultima verigă, conversia digital-analogică nu este pe măsură! Din acest motiv, producătorii (proiectanții) de casetofoane digitale dau cel puțin aceeași importanță acestei operații cât și operațiilor de prelucrare digitală a semnalului.

Din punct de vedere tehnic (și tehnologic), montajele convertoare D/A realizate după principiile clasice (convenționale) au ajuns deja la limitele superioare ale performanțelor. La un convertor D/A lucrând cu cuvinte de 16 biți și folosind filtre analogice, raportul semnal-zgomot la redare nu poate depăși 96 dB, iar utilizarea filtrelor analogice cu pantă mare duce automat la apariția unor nelinearități în bandă și distorsiuni de fază ale semnalului.

Pentru îmbunătățirea calității semnalului AF redat, producătorii de casetofoane digitale au apelat la prelucrări digitale foarte sofisticate, asemănătoare cu cele din CD player sau din studiourile profesionale.

În principiu, prelucrarea constă în procesări complexe, a căror explicare teoretică necesită un aparat matematic de foarte înalt nivel. Întrucât intenția autorilor este aceea de a se face înțeleși de electroniști și în special de cei practicieni, în cele ce urmează se va încerca explicarea fizică a acestor prelucrări, marcând elementele lor specifice.

5.3.1 FILTRAREA SEMNALELOR AF ȘI FILTRELE UTILIZATE

Elementul esențial în asigurarea calității semnalelor AF analogice refăcute prin conversia D/A este filtrarea lui.

Se știe de la prelucrarea pentru înregistrare că semnalul AF are o bandă de frecvențe de ordinul a 20...22 kHz, iar frecvența de eșantionare este de 48 kHz. La redare, pentru a elimina componentele de frecvență superioară ale semnalului refăcut, este necesară folosirea unui filtru trece jos, cu pantă foarte mare de cădere a flancului caracteristicii. Situația este redată în figura 5.12.

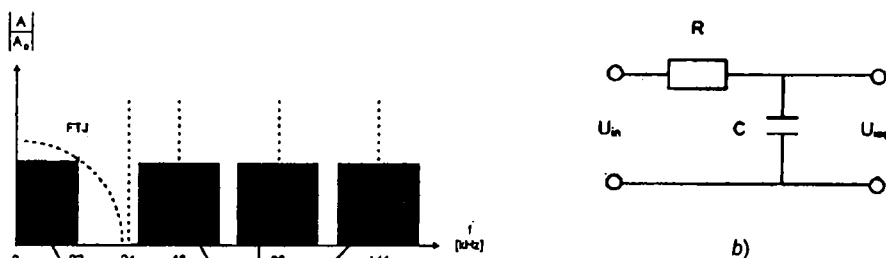


Fig.5.12 Eliminarea componentelor perturbatoare cu ajutorul filtrului trece jos:
a – spectrul semnalelor la ieșirea convertorului D/A;
b – celula de bază (RC) a filtrului trece jos.

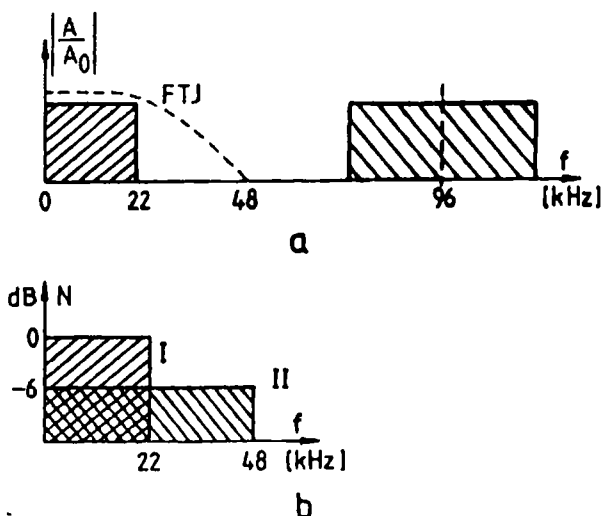


Fig.5.13 Efectul creșterii frecvenței de eșantionare:
a – depărtarea spectrului perturbator de spectrul util;
b – zgomotul (N – noise=zgomot) în cele două situații:
I – frecvență de eșantionare 48 kHz; II – frecvență de eșantionare 96 kHz.

Datorită refacerii semnalului AF prin metoda clasică cu refacerea fiecărui eșantion în parte (trecerea de la o valoare de eșantion la următoarea, prin salt), spectrul semnalului refăcut va fi foarte larg și va avea forma din figura 5.12, a. Eliminarea semnalelor perturbatoare trebuie realizată cu un filtru trece jos cu multe celule RC (figura 5.12, b).

Datorită caracteristicii foarte abrupte impuse filtrului, el va afecta și caracteristica AF (semnal util refăcut) în special în zona frecvențelor audio înalte și va introduce distorsiuni mari de fază, ambele având ca efect scăderea calității sunetului. Aici trebuie să facem următoarea remarcă: scăderea calității sunetului datorată efectului filtrului trece jos este insesizabilă pentru marea majoritate a auditoriului, mai puțin avizat, însă reprezintă o mare lipsă în ochii (mai bine zis: urechile) unei mici părți a auditoriului, formată din persoane cu înaltă pregătire muzicală și/ sau cu deosebit simț acustic.

O soluție a îmbunătățirii calității constă în mărirea frecvenței de eșantionare. La simpla sa dublare, lucrurile s-ar îmbunătăți simțitor. Panta de tăiere a filtrului ar putea fi mult mai lentă, fără a mai perturba semnalul util, iar zgomotul s-ar reduce cu 6 dB. Situația este reprezentată foarte schematic în figura 5.13.

În cazul prelucrării clasice această soluție este imposibilă, frecvența de eșantionare fiind standardizată (48 kHz) iar la conversia D/A de la redare se folosește aceeași frecvență. Lucrul devine însă posibil prin folosirea unor filtre speciale, numite „filtre digitale”, care asigură o eficiență sporită a filtrajului, însă aceasta în același timp presupune o complexitate deosebită a prelucrării, realizabilă numai cu ajutorul unor circuite integrate cu grad mare de integrare.

5.3.2 FILTRE DIGITALE

De la început subliniem faptul că principiul de funcționare al filtrelor digitale diferă de principiul de funcționare al filtrelor analogice cunoscute. Filtrele digitale asigură o prelucrare digitală (numerică) a datelor, foarte riguroasă, al cărei efect este însă superior celui obținut cu un filtru analogic, atât din punct de vedere al separării, cât și al liniarității la frecvențele superioare ale benzii AF.

Ceea ce se înțelege actualmente printr-un filtru digital este un dispozitiv electronic caracterizat prin următoarele:

- primește la intrare cuvinte digitale serie, formate fiecare dintr-un anumit număr de biți, cel folosit pentru exprimarea valorii fiecărui eșantion;
- generează intern un număr de cuvinte (eșantioane) suplimentar față de cel de la intrare, prin prelucrarea logică a acestora;

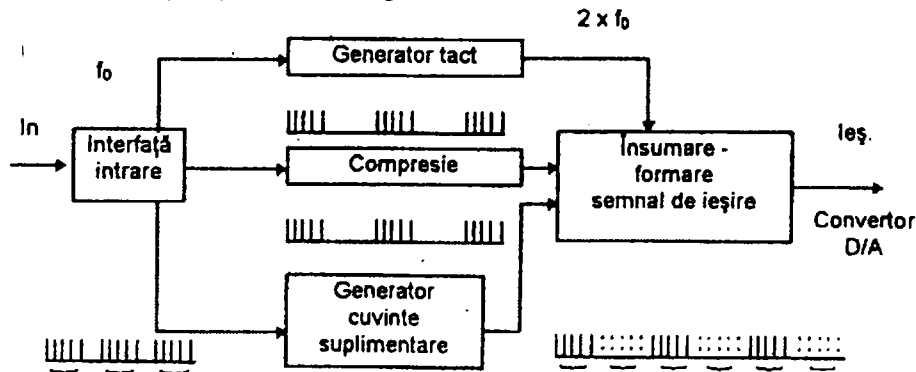


Fig.5.14 Schema bloc a filtrului digital cu multiplicare 2.

– asigură la ieșire un număr de eșantioane (cuvinte) mai mare decât cel de la intrare, cu frecvența biților crescută, într-un raport multiplu de 2 al frecvenței de referință (2,4,8 etc.). Eșantioanele (cuvintele corespunzătoare) de la ieșire vor fi practic de două tipuri: eșantioane originale (însă cu frecvența biților multiplicată) și eșantioane generate de către filtru după o anumită regulă.

Efectul acestei creșteri artificiale a informației este comparabil cu cel al unei eșantionări cu o frecvență superioară, cu toate efectele ei benefice asupra

separării semnalelor utile de cele perturbatoare. Este vorba despre o supra-eșantionare (sau *oversampling*, în limba engleză).

Ea constă în comprimarea datelor existente și inserția datelor create în filtru în perioada de timp rămasă disponibilă prin compresia datelor inițiale.

Schema bloc a unui filtru digital este dată în figura 5.14.

Din figură se vede rolul filtrului și anume, multiplicarea cu 2 (în acest caz) a cuvintelor (eșantioanelor), ceea ce face ca semnalul de la ieșire (care se aplică unui convertor D/A) să se comporte ca un semnal eșantionat cu frecvență dublă.

Principiul supraeșantionării este explicat în figura 5.15 de aici reieșind și efectul său asupra semnalului de AF refăcut prin conversia D/A.

Semnalul aplicat la intrare, este un semnal digital, asemănător semnalului rezultat la ieșirea convertorului analog-digital (A/D) de la intrarea casetofonului digital. Pe durata unei perioade de eșantionare ($1/48\,000\text{ Hz} = 20,83\text{ }\mu\text{s}$) sunt transmiși 32 de biți (16 biți pentru eșantionul AF stânga – *LData* – și 16 biți pentru eșantionul AF dreapta – *RData*). Situația este redată în figura 5.15.a, unde cu *CLK* a fost notat semnalul de tact (*clock*). În cazul reconstituirii semnalului AF analogic, acesta refăcut cu ajutorul a câte unui eșantion (grup de biți) pentru fiecare punct al său. În exemplul dat, semnalul este refăcut în 8 puncte (la momentele $t_0 \dots t_7$), fiecărui punct fiindu-i afectat câte un cuvânt de 32 biți (16 biți AF dreapta, 16 biți AF stânga), totul pe durata unei perioade de eșantionare de $20,83\text{ }\mu\text{s}$. Altfel spus, diferența între oricare dintre două momente succesive ($t_0 \dots t_7$) este de $20,83\text{ }\mu\text{s}$, iar valorile eșantioanelor sunt date de codul cuvintelor, marcate cu A pentru canalul AF stânga (*LData*) și A' pentru canalul AF – dreapta (*RData*).

În cazul supraeșantionării prin metode digitale, durata impulsurilor care marchează biții de informație este comprimată. În exemplul din figura 5.15.b, comprimarea se face în raport 1/2 (deci, este echivalentul dublării frecvenței de eșantionare).

Valoarea frecvenței de tact va fi (în cazul DCC) de 96 kHz, iar durata transiterii unui eșantion (cuvânt) de 32 biți va fi de $10,42\text{ }\mu\text{s}$. Pe durata normală a transmisiei codului se transmit cuvintele A și A' inițiale, comprimate (în timp, nu în conținut) și rămâne timp și pentru transmiterea a încă două valori de eșantioane B și B' create chiar în filtru. Corespunzător numărului crescut de eșantioane și reproducerea semnalului analogic va fi mai bună, zgomotul de cuantizare fiind redus cu 6 dB în banda semnalului util.

În figura 5.15.c este redată situația în care frecvența echivalentă de eșantionare devine cuadruplă. Perioada de transmitere a informației se reduce la $5,21\text{ }\mu\text{s}$, iar numărul de eșantioane crește de 4 ori față de situația inițială. Acum, pe durata timpului afectat inițial transiterii unui eșantion, sunt transmise 4 eșantioane: eșantionul original A și trei noi eșantioane generate de către filtrul digital, notate cu B, C și D.

Situația este echivalentă cu cea a unei eșantionări cu frecvență cuadruplă, la care reproducerea semnalului AF digital este net superioară situației inițiale, față de care zgomotul de cuantizare este mai redus cu 12 dB, iar filtrul de separare are o sarcină foarte ușoară.

Pozițiile pe scara frecvențelor a benzii semnalului util și a spectrului de frecvențe ale semnalului perturbator cât și caracteristica filtrului trece jos necesar în cazul supraeșantionării cu $4 \times f_0$ sunt date în figura 5.15.d.

Din cele de mai sus, reiese superioritatea de necontestat a filtrelor digitale față de oricare soluție clasică de filtrare a semnalului AF după conversia D/A

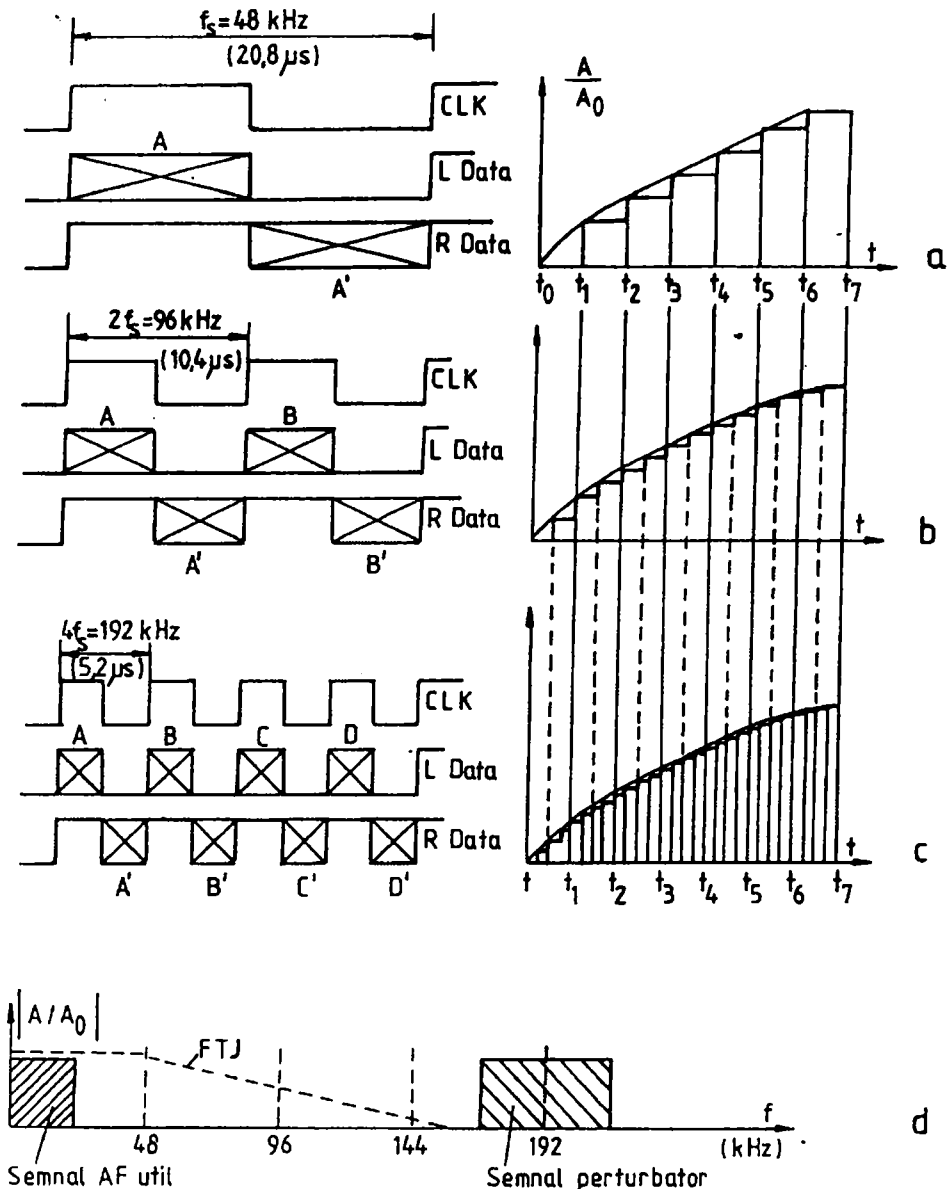


Fig.5.15 Principiul supraeșantionării:

- a – eșantionarea cu frecvență inițială, f_0 ; b – supraeșantionare cu frecvență dublă: $f = 2 \times f_0$;
 c – supraeșantionare cu frecvență cuadruplă, $f = 4 \times f_0$; d – efectul supraeșantionării
 (caracteristica filtrului „trece jos” de separare a semnalului util).

Și în această situație apar însă două inconveniente:

– filtrul digital presupune generarea unor cuvinte (eșantioane) noi, artificiale, care dacă n-au o valoare foarte apropiată de valoarea reală, pot falsifica semnalul AF redat;

– un filtru digital presupune o procesare complexă cu multe funcțiuni, ceea ce duce automat la circuite complexe, deci costisitoare.

Aceste probleme se pare că au fost rezolvate în ultimii ani datorită progreselor tehnologice spectaculoase din electronică. Astfel, acum în lume există mai multe firme producătoare de circuite integrate, care într-un singur cip realizează nu numai filtrul digital cu toate funcțiile logice, dar și convertorul D/A care-l urmează.

În ceea ce privește costurile, tot datorită progreselor tehnologice, acestea au scăzut semnificativ, nemaiconstituind actualmente un impediment în calea utilizării filtrelor digitale în producția bunurilor de larg consum.

6

PARTICULARITĂȚI TEHNICE ȘI TEHNOLOGICE ALE CASETOFOANELOR DIGITALE

Datorită particularităților specifice operațiunilor de înregistrare-redare în casetofoanele digitale, apar și o serie de particularități tehnologice ale realizării și funcționării principalelor componente (specifice) ale casetofonului propriu-zis.

În cele ce urmează ne vom ocupa numai de aspectele legate de elementele tipizate ale casetofoanelor:

- dimensiunile benzii și pistelor cu înregistrare magnetică;
- construcția și dimensiunile capului magnetic;
- construcția și dimensiunile casetei digitale.

6.1 ÎNREGISTRAREA ȘI POZIȚIONAREA PISTELOR PE BANDA MAGNETICĂ

În primul rând, câteva cuvinte despre banda magnetică utilizată pentru înregistrare.

Ea este formată dintr-un suport din material plastic (tip film) acoperit cu un strat din material magnetic. Nu intrăm în amănunte, deoarece structura sa este foarte asemănătoare cu cea a benzii magnetice din caseta audio clasică sau din caseta video. Înregistrarea se realizează pe zona superficială de strat magnetic a benzii.

În figura 6.1 este redat principiul înregistrării magnetice a informației digitale. Cu ajutorul capului magnetic este creat un câmp magnetic local, notat H/R , care se aplică stratului magnetic de pe banda care se deplasează cu viteză constantă față de cap. După trecerea unui sector de bandă prin dreptul capului, materialul magnetic al benzii rămâne polarizat, în figură câmpul remanent fiind notat cu B/R .

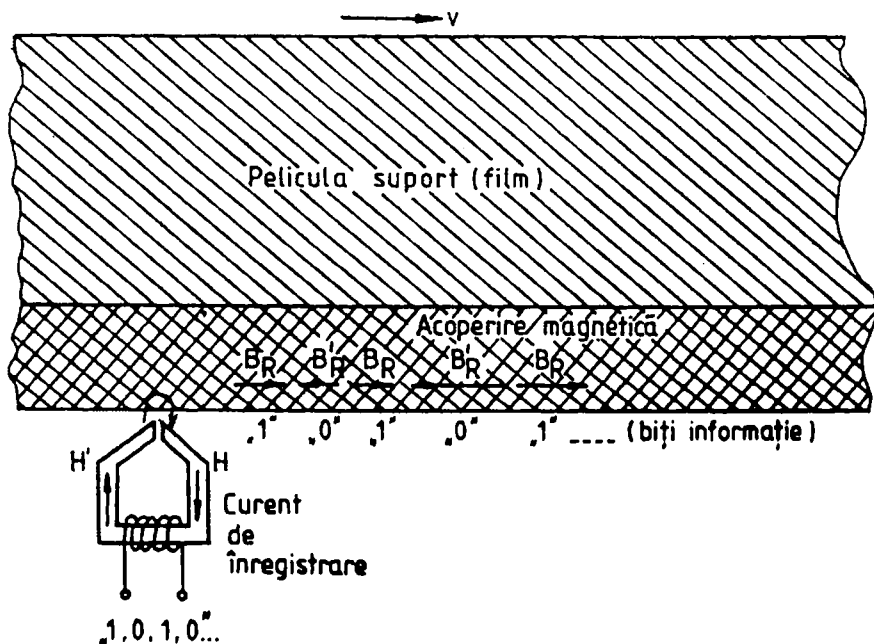


Fig.6.1 Înregistrarea-redarea semnalelor digitale pe bandă magnetică.

Funcție de polaritatea impulsului, câmpul remanent va avea un sens sau altul (a nu se uita că valoarea digitală „unu” este marcată de frontul impulsurilor, adică zona de schimbare a polarității câmpului remanent).

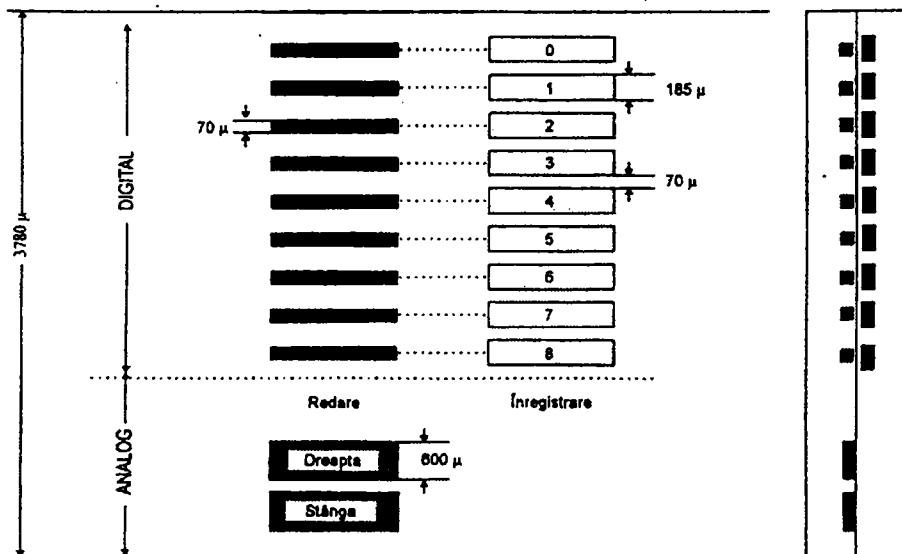


Fig.6.2 Poziționarea și dimensiunile pistelor cu înregistrarea magnetică pe bandă.

La redare, procesul este invers. La trecerea benzii prin dreptul capului de redare, câmpul magnetic remanent înregistrat va induce prin bobinajul capului un curent care reprezintă semnalul „citit”.

Înregistrarea, așa cum s-a menționat deja, se realizează pe 9 piste paralele, pe fiecare dintre cele două sensuri (jumătăți) ale benzii. Dimensiunile și poziționarea standardizată a pistelor pe bandă este dată în figura 6.2. Se remarcă faptul că lățimea pistei înregistrate este mult mai mare (185 microni față de 70 microni) decât lățimea (fanta) de citire a capului magnetic. În acest mod, se elimină problemele legate de deviațiile unghiulare (eroarea de azimut) cât și erorile de poziționare a capului la citire.

În figură, în jumătatea de jos a benzii sunt reprezentate cele două piste pe care se înregistrează semnalul AF analogic, în cazul în care casetofonul este prevăzut cu ambele opțiuni: înregistrare-redare digitală și înregistrare-redare analogică (clasică).

Alăturat, în figură este reprezentat capul magnetic, la care fantele de înregistrare-redare sunt dispuse pe axa N-S (perpendiculară) a blocului constructiv care constituie capul magnetic multiplu. Pentru funcționare în regim digital se remarcă faptul că funcțiunile de cap de înregistrare, respectiv cap de redare sunt asigurate de două dispozitive separate, cu fante de dimensiuni diferite.

În cazul înregistrării-redării în regim AF analogic, sunt folosite aceleași capete atât pentru înregistrare cât și pentru redare, soluție cunoscută de la casetofoanele uzuale (analogice).

6.2 CONSTRUCȚIA CAPULUI MAGNETIC

În cazul casetofoanelor digitale, prin cap magnetic se înțelege un întreg ansamblu care conține toate capetele necesare înregistrării, respectiv redării semnalului AF (digital sau analogic).

Blocul de capete magnetice utilizat în casetofoanele digitale are structura din figura 6.3. Se remarcă aici faptul că pe verticală, în partea de sus (localizarea este arbitrară și are ca referință desenul din figura 6.3, mai precis pe jumătate din axa sa sunt localizate cele 9 x 2 capete dispuse în pereche, unul de înregistrare, celălalt de redare) care corespund funcționării casetofonului în regim digital.

Din figura 6.3,b reies dimensiunile diferite ale fantelor de înregistrare, respectiv redare. Pe cea de a doua jumătate a axei sunt plasate cele două capete de înregistrare-redare pentru semnalul AF digital.

Folosind de capete, într-un casetofon digital există două soluții, pentru a asigura înregistrarea, respectiv redarea unei casete pe ambele sensuri (jumătăți ale benzii):

folosirea unui singur cap magnetic însă cu posibilitatea rotirii lui cu 180 grade,

folosirea a două capete orientate invers.

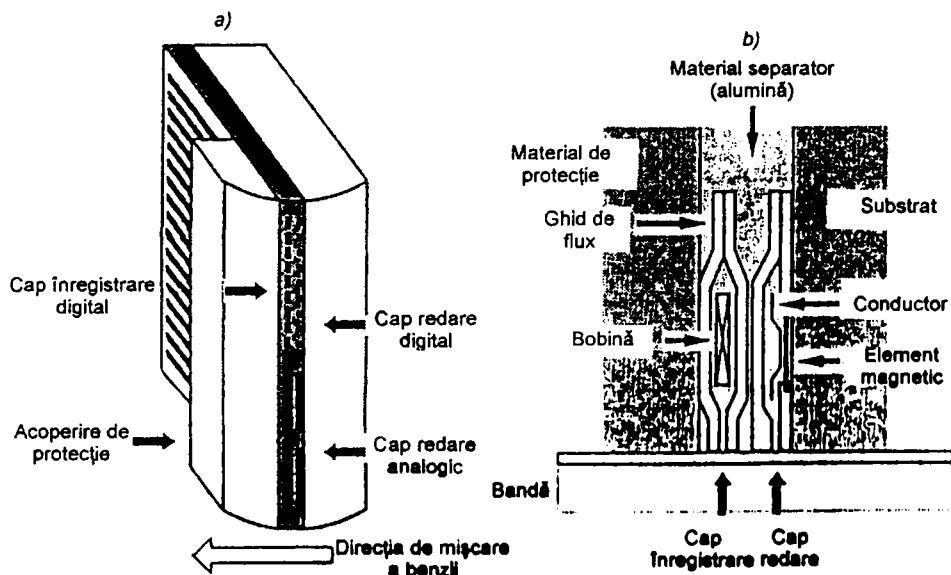


Fig.6.3 Structura constructivă a blocului de capete magnetice:
a - vedere din față; b - secțiune printr-un cap digital.

Situația este redată în figura 6.4, cu mențiunea că problema a apărut datorită faptului că o casetă DCC are o poziționare unică în locașul ei, nepermițând așezarea pe oricare față a sa. Aceasta duce la necesitatea schimbării poziției capului în cazul trecerii de la utilizarea uneia dintre jumătățile benzii la cealaltă.

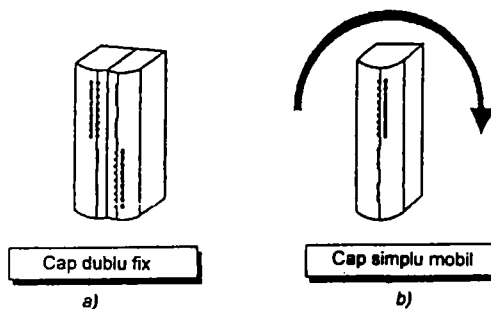


Fig.6.4 Tipuri constructive de capete magnetice:
a - cap fix; b - cap rotativ.

6.3 CASETA AUDIO DIGITALĂ – DCC

La apariția casetofonului digital, au fost folosite mai multe tipuri de casete. Cea care s-a impus este un fel de combinație între caseta audio clasică și caseta video. Dimensiunile sale sunt apropiate de cele ale casetei audio, însă forma constructivă este mai apropiată de cea a casetei video cu aproape toate caracteristicile sale: clapă de protecție a benzii care se ridică la introducerea casetei în lăcaș, poziție unică la funcționare (nu permite introducerea casetei decât într-o singură poziție), cod de găuri în carcasă, pentru recunoașterea de către casetofon a câtorva dintre caracteristicile sale etc.

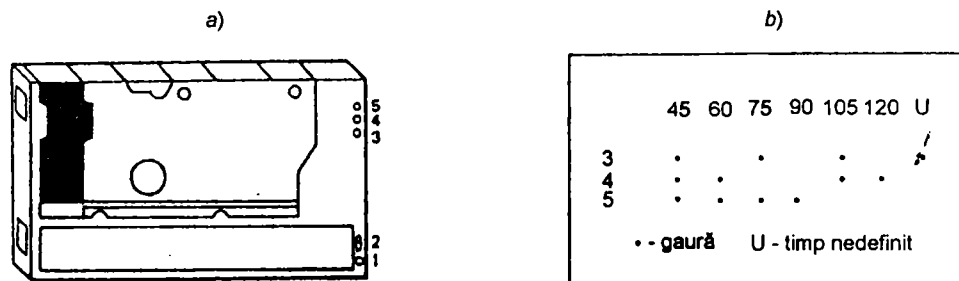


Fig.6.5 Construcția DCC:

a – forma casetei neregistrate; b – codul adânciturilor de pe casetă.

Forma constructivă a casetei este dată în figura 6.5,a. Cele 5 adâncituri (găuri) poziționate pe marginea casetei au următoarele semnificații:

1 – Detecție regim funcționare casetofon: regim digital (lipsă)/ regim analogic (există).

2 – Protecție la ștergere: nu poate fi ștersă (lipsă)/ poate fi ștersă (există).

3,4,5 – Durata înregistrării/ redării conform codului dat în figura 6.5,b.

Pe piață sunt vândute și casete înregistrate profesional. Acestea, din start au cele 5 adâncituri obturate. Ele sunt înregistrate sigur digital (adâncitura nr.1), nu trebuie șterse accidental (adâncitura nr.2), iar durata înregistrării este deja marcată în informațiile auxiliare, înregistrate pe bandă.

În plus, aceste casete pot fi prevăzute cu o adâncitură sub formă de fantă, pe latura opusă celei cu adânciturile de cod, care comandă încărcarea automată a casetei la introducerea sa în lăcașul din casetofon. Prin încărcare, se înțelege aducerea casetei în poziția de utilizare în regim de redare (poziție, ridicare clapetă de protecție, presat bandă pe capul magnetic etc.).

PRESCURTĂRI ÎN LIMBA ENGLEZĂ, UTILIZATE ÎN TEHNICA DCC

A / D	(<i>Analog to Digital converter</i>) – Convertor analog digital: dispozitiv electronic care asigură transformarea semnalelor analogice în semnale digitale.
BCD	(<i>Binary Coded Decimal</i>) – Valori decimale exprimate binar/ Corespondentul binar.
BCLK	(<i>Bit Clock</i>) – Semnal de tact de bit.
BDO	(<i>Black Dropout</i>) – Dropout negru: Lipsă totală a semnalului; lipsă semnal AF datorată unui defect al benzii magnetice.
BIT	(<i>Binary Digit</i>) – Cifră binară folosită în baza de numerație 2 (poate avea două valori: „unu” sau „zero”).
CD	(<i>Compact Disc</i>) – Discul compact propriu-zis/ aparatul care permite redarea înregistrării AF de pe un compact disc/ principiul care stă la baza tehnicii înregistrării (redării compact discului).
CDP	(<i>Compact Disc Player</i>) – Aparatul utilizat la redarea înregistrării AF de pe un compact disc.
CIRC	(<i>Cross Interleaved Reed Solomon Code</i>) – Cod Solomon cu intercalare încrucișată: metodă de codare a datelor pentru protecția la erori.
D/A	(<i>Digital to Analog converter</i>) – Convertor analog – digital: Dispozitiv electronic ce asigură transformarea semnalelor digitale în semnale analogice.
DAT	(<i>Digital Audio Tape</i>) – Bandă audio digitală: Tehnică, metodă și suport pentru înregistrarea magnetică a semnalelor digitale AF pe bandă magnetică.
DCC	(<i>Digital Compact Cassette</i>) – Casetă compactă digitală: Tehnică, metodă și suport pentru înregistrarea magnetică a semnalelor AF digitale pe casete speciale cu bandă magnetică.
DO	(<i>Dropout</i>) – Întrerupere a semnalului AF datorată unor cauze accidentale (deteriorarea benzii magnetice sau defecțiune de scurtă durată a sistemului de redare).
EFM	(<i>Eight to Fourteen Modulation</i>) – Modulație 8 la 14: Prelucrare (codare) a datelor digitale, prin care un cuvânt de 8 biți este înlocuit printr-un cuvânt de 14 biți, după o anumită regulă utilizată atât la codare cât și la decodare.
ETM	(<i>Eight to Ten Modulation</i>) – Modulație 8 la 10: Prelucrare (codare) a datelor digitale, prin care un cuvânt de 8 biți este înlocuit printr-un cuvânt de 10 biți, după o anumită regulă utilizată atât la codare cât și la decodare.
H	(<i>High</i>) – „Unu”, „da”, valoare „mare” a impulsului în timpul prelucrării semnalelor în circuitele electronice.
L	(<i>Low</i>) – „zero”, „nu”, valoare „mică” (nulă) a impulsurilor în timpul prelucrării semnalelor în circuitele electronice.

MUT	(<i>Muting</i>) – Blocarea căii de semnal AF. Poate fi automată (la apariția/ detectarea unui dropout) sau la comanda utilizatorului, pe durata dorită.
NRZI	(<i>Non Return to Zero Inverted</i>) – Impulsuri inversate fără revenire la zero: Semnal digital la care valoarea „unu” (high) este reprezentată de un front, iar valoarea „zero” (low) este reprezentată de o valoare constantă (indiferent care) a semnalului.
PASC	(<i>Precision Adaptive Sub-band Coding</i>) – Codare adaptivă de precizie pe subbenzi: Metodă de compresie a semnalului digital AF, prin care semnalul este redus la 25% din conținut, fără a afecta calitatea sunetului reprodus.
PLL	(<i>Phase Locked Loop</i>) – Buclă închisă cu calare pe fază: Circuit electronic caracterizat prin aceea că asigură compararea frecvenței sau/ și fazei unui semnal exterior cu un semnal interior generat de un oscilator comandat în tensiune (VCO). Scopul final este sinfizarea oscilatorului local cu semnalul exterior, pentru aceasta bucla generând un semnal de eroare.
THD	(<i>Total Harmonic Distortion</i>) – Distorsiuni armonice totale: parametru al semnalului AF la redare.

BIBLIOGRAFIE

1. BĂȘOIU M, ȘTEFAN E. *Compact Disc*, Editura Teora, 1995.
2. THEUNISSEN LUC. *PCM-F₁*, Sony Training Text (Belgium).
3. *** *Design in guide. CD players and audio data converters* - Philips, August, 1993.
4. *** *Technical guide, Vol. 31: Auto DCC Technology*, Panasonic

„Fără nici un fel de dubiu, zilele tehnicilor analogice de înregistrare AF sunt numărate. Tehnica digitală poate oferi utilizatorului o serie de facilități suplimentare față de cele oferite de casetofonul *clasic*, tentante și deloc de neglijat pentru cumpărătorul potențial.”