

LUCRAREA NR. 1

REPREZENTAREA MARIMILOR ÎN ACUSTICA

Pentru a fi percepute sub forma de sunet, vibratiile acustice care ajung la ureche trebuie sa satisfaca anumite conditii privitoare la frecventa, intensitatea si durata lor.

Unui sunet îi sunt prescrise trei calitati subiective corespunzatoare la trei marimi:

marime obiectiva	marime subiectiva
Presiune sonora, intensitate	Tarie
Frecventa (sunet pur)	Înaltime
Structura spectrala (sunet complex)	Timbru

Raportându-se la ascultatorul otologic normal s-a constatat ca acesta percepe ca sunet orice vibratie acustica a carei frecventa se gaseste cuprinsa între 16 si 16000 Hz.

O alta coordonata de baza pentru perceptia sunetelor este durata lor. Pentru ca o oscilatie sinusoidala (un ton pur) sa poata fi perceputa auditiv este necesar ca durata sa minima sa fie de 60ms.

Legea Weber-Fechner arata ca senzatiile diferentiale este proportionala cu variatia relativa a intensitatii sunetului si nu cu valoarea absoluta a acestuia, sau altfel spus, la o crestere în progresie geometrica a intensitatii sunetului, senzatiile sonore cresc în progresie aritmetica. Apare deci necesitatea alegerii unei scari

logaritmice pentru presiunea acustica si pentru intensitate. Constatarea experimentală ca variatia de înaltime este proportională cu variatia relativă de frecvență, indică necesitatea alegerii unei scări logaritmice în frecvență.

Pentru a crea senzația de sunet, intensitatea sau presiunea acustică trebuie să depășească o anumită valoare minimă. Această valoare minimă variază cu frecvența și la frecvența de 1000 Hz este egală cu $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, corespunzător unei presiuni acustice de $p = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bari}$. Această limită inferioară a auzului se numește prag de audibilitate.

Dacă intensitatea vibrațiilor depășește o anumită valoare, senzația de sunet se transformă în senzație de durere. Aceasta se întâmplă de exemplu, pentru frecvența de 1000 Hz la o intensitate de 1 W/m^2 , corespunzător unei presiuni acustice de $p = 2 \cdot 10^2 \mu\text{bari}$. Limita superioară a audibilității se numește prag de durere. Ca și pragul de audibilitate, pragul de durere variază cu frecvența, dar această variație e mai puțin accentuată.

Dacă se trasează în funcție de frecvență și de nivelul de intensitate sonoră curbele ce reprezintă pragurile definite, se obține diagrama din figura 1.1.

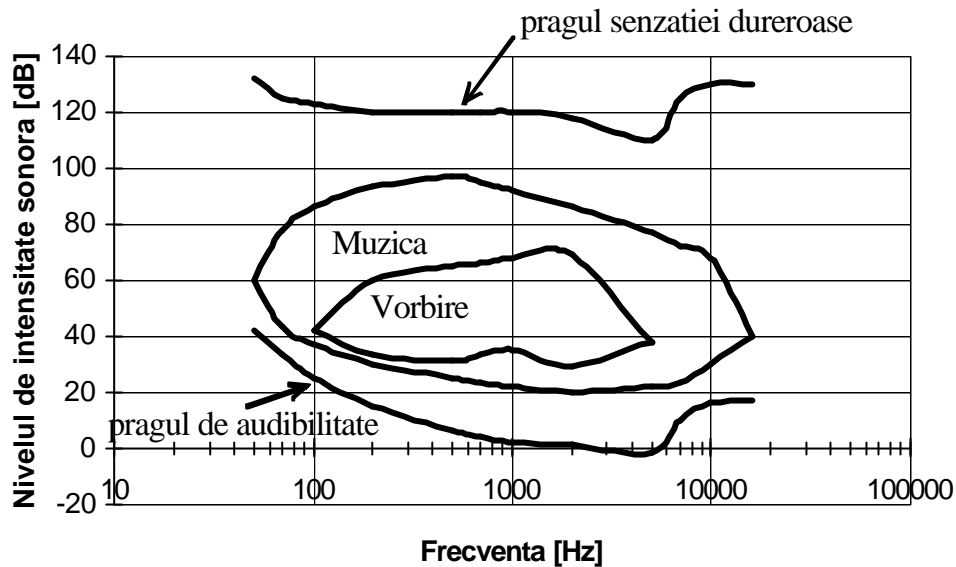


Figura 1.1. Suprafata de audibilitate

Suprafata cuprinsa între cele doua curbe reprezinta suprafata de audibilitate. S-au trasat si zonele corespunzatoare muzicii si vorbirii. Domeniul de intensitati audibile are o întindere foarte mare, în special în domeniul frecventelor medii. În acustica, deoarece se folosesc scari si reprezentari în decibeli, nivelul absolut al unei marimi se defineste introducând o valoare de referinta specifica acelei marimi. Pentru majoritatea marimilor, valorile de referinta sunt normalizate, iar daca se aleg altele trebuie precizate. Se definesc astfel:

-Nivelul de intensitate acustica (în dB) este dat de:

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$$

-Nivelul de presiune acustica (în dB) este dat de:

$$L_P = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0}$$

-Nivelul de putere acustica (în dB) este dat de:

$$L_{P_a} = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_{ao}}$$

În acustica aeriana se iau prin conventie internationala urmatoarele valori de referinta:

$$I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$p_o = 2 \cdot 10^{-4} \text{ } \mu\text{bari} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

O corespondenta între nivelele în decibeli si rapoartele marimilor de câmp este data în tabelul ce urmeaza:

A doua cifra semnificativa

X/X ₀	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	0.000	0.828	1.584	2.279	2.923	3.522	4.082	4.609	5.105	5.575
2.0	6.021	6.444	6.848	7.235	7.604	7.959	8.299	8.627	8.943	9.248
3.0	9.542	9.827	10.1	10.37	10.63	10.88	11.12	11.36	11.60	11.82
4.0	12.04	12.25	12.46	12.67	12.87	13.06	13.25	13.44	13.62	13.81
5.0	13.98	14.15	14.32	14.49	14.65	14.8	14.96	15.12	15.27	15.41
6.0	15.56	15.71	15.85	15.99	16.12	16.26	16.39	16.52	16.65	16.77
7.0	16.90	17.02	17.15	17.27	17.38	17.5	17.62	17.73	17.84	17.95
8.0	18.06	18.17	18.28	18.28	18.38	18.49	18.59	18.79	18.89	18.99
9.0	19.08	19.18	19.27	19.37	19.46	19.55	19.64	19.73	19.82	19.91
10	20.00	20.83	21.58	22.28	22.92	23.52	24.08	24.6	25.1	25.57
20	26.02	26.44	26.84	27.6	27.6	27.96	28.3	28.62	28.94	29.25
30	29.54	29.83	30.1	30.37	30.63	30.88	31.13	31.36	31.6	31.82
40	32.04	32.25	32.46	32.65	32.87	33.06	33.25	33.44	33.62	33.80
50	33.98	34.15	34.32	34.49	34.65	34.8	34.96	35.12	35.27	35.41
60	35.56	35.71	35.85	35.99	36.12	36.26	36.39	36.52	36.65	36.77
70	36.9	37.02	37.13	37.27	37.38	37.50	37.62	37.73	37.84	37.95
80	38.06	38.17	38.28	38.38	38.49	38.59	38.69	38.79	38.89	38.99
90	39.08	38.18	39.27	39.37	39.46	39.55	39.64	39.73	39.82	38.91

În urma cercetarilor experimentale ale lui Fletcher si Munson, au fost determinate si trasate pe diagrama de audibilitate

curbele de egal nivel de tarie (izofone). Acestea sunt reprezentate în figura 1.2.

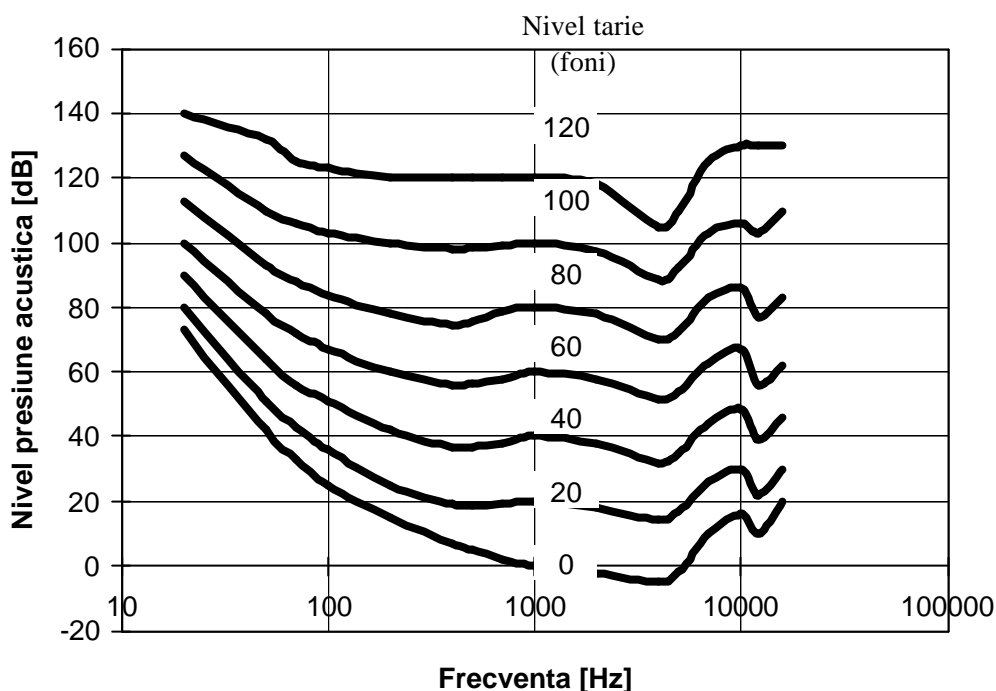


Figura 1.2. Curbele izofone Fletcher-Munson

Pentru exprimarea nivelului de tarie se recurge la o unitate de masura numita **fon**, care arata ca taria senzatiei auditive produsa de un sunet cu o frecventa oarecare este identica cu taria produsa de un sunet de 1000Hz cu nivel de intensitate sonora cunoscuta. Pentru 1000Hz, numarul de foni este deci întotdeauna egal cu numarul de decibeli. La frecvente diferite de 1000Hz variatia tarii în functie de intensitatea sunetului nu mai este liniara. De exemplu, tonul cu frecventa de 1000 Hz, având intensitatea egala cu 40dB,este perceptut cu o tarie egala cu 40 foni. Tonul cu aceeasi intensitate, dar având frecventa de 200Hz este perceptut cu o tarie mult mai mica, de 20 foni.

Prin folosirea marimii “nivel de tarie” nu avem o imagine clara a gradului de marire sau scadere a senzatiei de auz, ca urmare a

maririi, respectiv micșorării nivelului de intensitate sonora. De aceea se folosește pe scara largă mărimea numită **tarie**, care se exprimă în **soni**. Un son este valoarea tariei unui sunet cu o frecvență de 1000Hz și un nivel de tarie de 40 foni. Taria unui sunet este de n soni dacă acesta este de n ori mai puternic decât sunetul a cărui tarie este de 1 son. Funcția care leagă taria exprimată în soni de nivelul de tarie exprimat în foni este reprezentată în figura 1.3.

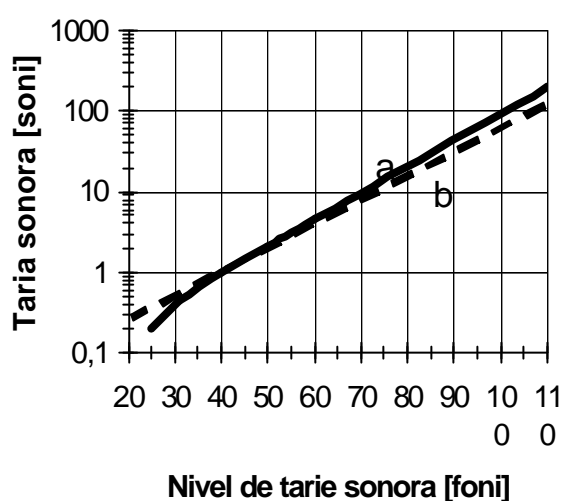


Figura 1.3. Graficul legăturii foni - soni

Calitatea analizorului auditiv uman de a atribui o **înaltime** sunetelor periodice are o mare importanță pentru perceperea tonului fundamental al vorbirii. Experiența arată că înălțimea senzației sonore descrește uneori până la 80% din frecvența corespunzătoare sunetului fizic atunci când crește nivelul tariei senzației. Abaterile de la corespondența presupusă inițial perfectă între înălțimea sunetului și frecvența au determinat introducerea unității de înălțime sonoră, numită **mel** (de la melodie). Reperul pentru definiția melului îl constituie înălțimea de 1000 meli, corespunzătoare unui sunet a cărui frecvență este de 1000Hz și al

carui nivel de presiune este de 60dB. Înălțimea unui sunet care pare de n ori mai înalt decât cel corespunzător unui mel poate fi exprimată prin n meli.

Pâna acum ne-am referit la valorile absolute ale parametrilor acustici, la pragurile intrinseci. Este important însă să considerăm și pragurile diferențiale de audiere, adică variațiile minime ale parametrilor acustici care pot fi sesizate de ureche. Se constată că auzul este mult mai sensibil la modificarea parametrilor acustici, în general valorile pragurilor diferențiale sunt mai mici decât valorile pragurilor intrinseci. Astfel, diferența minimă perceptibilă a duratei dintre două sunete poate să ajungă la 10 ms.

Pragul diferențial de intensitate (diferența minimă dintre intensitățile a două sunete succesive) depinde atât de frecvență, cât și de nivelul de tarie al sunetului perceput inițial (înainte de variația intensității). Pragul diferențial de intensitate are valoarea minimă la frecvențe medii ale benzii audio și la valori mari ale nivelului de tarie. Acest prag ajunge până la 1dB.

Variația înălțimii cu frecvența este reprezentată în figura 1.4.

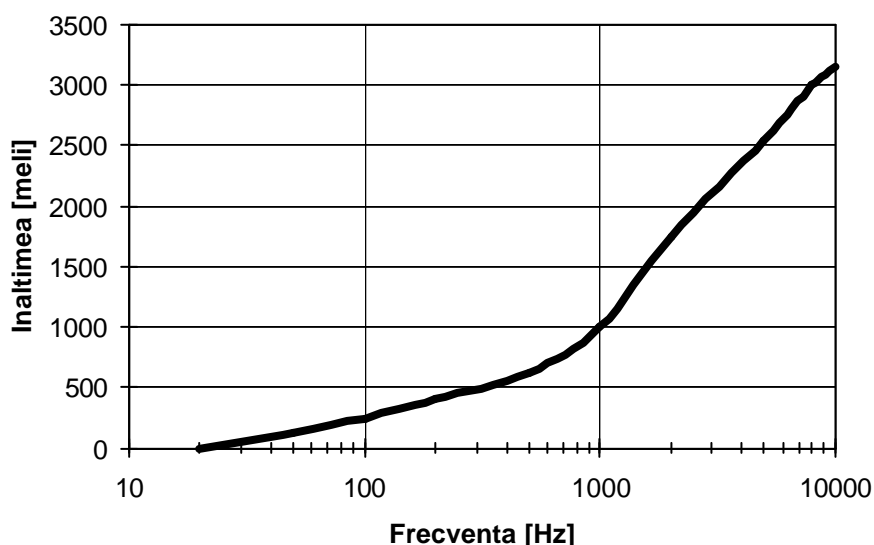


Figura 1.4.

Din acest grafic rezulta ca organul auditiv este mai sensibil la schimbarile de frecventa din domeniul frecventelor superioare lui 1000Hz, în timp ce sensibilitatea scade pe masura ce frecventa se micsoreaza. În general, sensibilitatea la variatia înaltimii descreste odata cu nivelul de intensitate sonora. Se poate considera ca în cazul nivelelor de intensitate sonora nu prea mica, de ordinul a 60dB, o persoana percepe schimbarea înaltimii unui sunet daca frecventa a variat cu aproximativ $\Delta f=3\text{Hz}$ la frecvente sub 1000Hz si cu $\Delta f/f=3\%$ la frecvente peste 1000Hz.

Analiza unui mare numar de oscilograme a aratat ca durata vocalelor variaza aproximativ între 120 si 200ms, duratele mai mari fiind caracteristice vocalelor accentuate. Durata consoanelor variaza în limite largi de la 30 pâna la 140ms.

Nivelul intensitatii maxime al sunetelor strigate atinge valoarea de 94dB (fata de valoarea de prag), iar cele mai slabe sunete (sunetele soptite) au nivelul în jur de 34dB. Variatiile de nivel care se produc în timpul vorbirii normale sunt considerate de 40dB. Considerând ca pragul diferential pentru perceperea variatiilor de intensitate a vorbirii este de 10dB rezulta ca urechea poate sa perceapa din vorbirea normala aproximativ 1000 de valori distincte de intensitate.

Intervale de frecventa

Un interval de frecventa este raportul a doua frecvente. Numeroase intervale definite în muzica poarta nume astfel, **octava** este intervalul de 2, **cvinta perfecta** este de 3/2, **cvarta perfecta** de 4/3, **terta majora** de 5/4 (treime de octava) etc. În acustica, un interval se exprima adesea prin logaritmul sau într-o baza data. Exemplu: la lg (logaritm zecimal) corespunde un interval de o decada, la lb (logaritm în baza 2) îi corespunde un interval de o octava. Tonul si semitonul temperat sunt submultipli ai octavei, având 1/6, respectiv 1/12 octave. O octava are aproximativ 0.3 decade ($\lg 2$) iar o decada are 3.32 octave.

În scopul simplificarii procedurilor de masura si pentru a permite compararea directa a rezultatelor se utilizeaza serii de frecvente normate (ISO 266). Ele sunt stabilite pe intervale succesive, deasupra si dedesubtul frecventei de referinta de 1000Hz. Sunt definite trei serii: în octava (raportul a doua frecvente succesive este 2), în semioctava (raportul a doua frecvente succesive este $\sqrt{2} = 1,41$) si în treime de octava (raportul a doua frecvente succesive este $\sqrt[3]{2} = 1,26$). Din considerente practice valorile sunt rotunjite.

Seria în octava

1000 ; 500 ; 250 ; 125 ; 63 ; 31.5 ; 16 Hz

1000 ; 2000 ; 4000 ; 8000 ; 16000 ; 31500 ; 63000Hz

Seria în jumătate de octava

1000 ; 710 ; 500 ; 355 ; 250 ; 180 ; 125 ; 90 ; 63 ; 45 ; 31.5 ; 16Hz

1000 ; 1400 ; 2000 ; 2800 ; 4000 ; 5600 ; 8000 ; 11.2K ; 16K ;

22.4K ; 31.5KHz

Seria în treime de octava

12.5 ; 16 ; 20 ; 25 ; 31.5 ; 40 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100 ; 125 ; 160Hz ...

Se schimba în continuare doar ordinul de marime (treimea de octava corespunde aproximativ zecimii de decada).

Extinderea scarilor logaritmice

Numarul de unda $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$ (c - viteza de propagare a undelor) fiind proportional cu frecventa, notiunea de interval în octava sau decada s-a extins si asupra produsului $k \cdot d$ (d-o distanta x sau r, sau o dimensiune caracteristica a unui dispozitiv acustic). Valoarea $k \cdot d = 1$ se impune ca referinta, ea corespunzând frontierei între doua domenii în care proprietatile sunt foarte diferite (ex.: impedanta caracteristica a unei sfere).

Prin simetrie a fost extinsa notiunea de interval în octava sau decada la rapoartele de distante sau dimensiuni. Referinta unei scari logaritmice de distanta trebuie precizata.

Performantele impuse aparaturii electroacustice

Gama sunetelor naturale, adica întinderea ca nivele de intensitate, cât si ca banda de frecvente este foarte mare (figura 1.5).

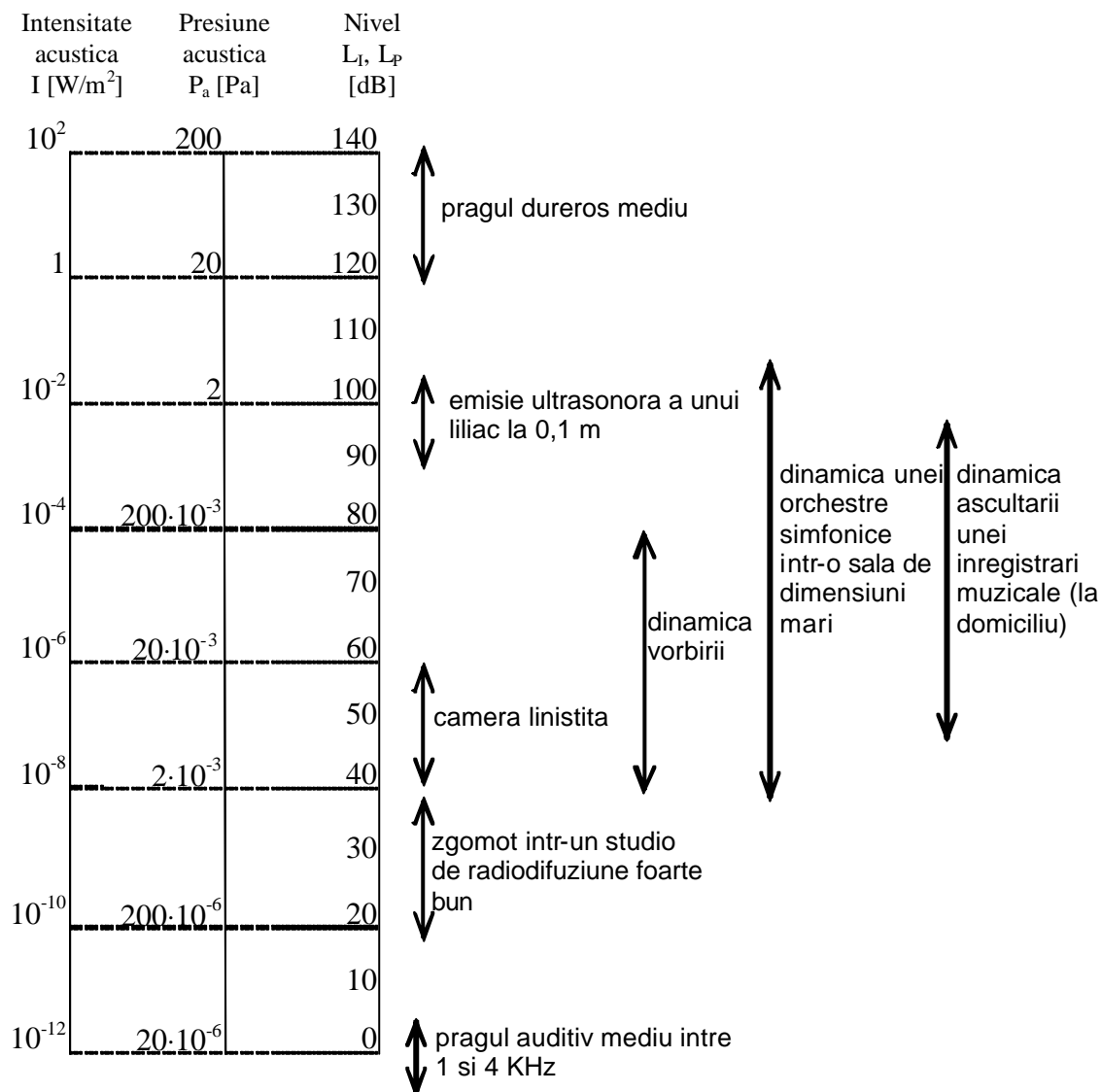


Figura 1.5. Niveluri si game dinamice uzuale

Raportul dintre puterea maxima si puterea minima pentru vocea cântata sau pentru orchestra simfonica (gama dinamica) este de 10^{10} sau 100 decibeli.

În ceea ce priveste domeniul de frecvente, trebuie facuta observatia ca atât pentru voce, cât si pentru instrumentele muzicale, componentele spectrale fundamentale sunt cuprinse în cele 7

octave ale pianului ($f_{\max}=4186\text{Hz}$), dar componentele spectrale armonice acopera o banda de pâna la 20KHz. Se poate considera ca banda de frecvente pentru o reproducere naturala este cuprinsa între 30 si 16000Hz, cu o neuniformitate de transmitere de 1dB, deoarece armonicile de ordin ridicat nu influenteaza hotarâtor asupra timbrului.

Privitor la distorsiuni, s-a constatat experimental ca influenta diferitelor tipuri de distorsiuni nu este la fel de importanta.

Distorsiunile de neliniaritate masurate în procente trebuie sa nu depaseasca 0.2% pentru a realiza o transmisie "naturala" a sunetului. În transmisiile de calitate medie valoarea coeficientului de distorsiuni neliniare poate atinge 2...3%.

Distorsiunile de faza au o importanta mai mica în transmiterea sunetului atâta timp cât întârzierile nu depasesc 50ms.

În sistemele de înregistrare-redare, care contin dispozitive mobile se produce un alt tip de distorsiuni, anume distorsiuni de variatie a frecventei, datorate pendularii vitezei de antrenare a acestor dispozitive. Pentru o transmisie naturala este necesar ca variatia relativa a frecventei sa nu depaseasca 0.1%.

Norme

Principalele organizatii de normalizare pentru electroacustica sunt:

- Organizatia Internationala de Normalizare (**ISO**)
- Comisia de Electrotehnica Internationala (**CEI**)
- Audio Engineering Society (**AES**)

Lucrarea nr. 1 - Reprezentarea marimilor in acustica

- American National Standard Institute (**ANSI**)
- Association Francaise de Normalisation (**AFNOR**)
- Deutsches Institut fur Normung (**DIN**)
- Record Industry Association of America (**RIAA**)

TABEL CU FRECVENTE PREFERATE

f	1oct	1/2oct	1/3oct		1oct	1/2oct	1/3oct		1oct	1/2oct	1/3oct
16	*	*	*	160			*	1600			*
18				180		*		1800			
20			*	200			*	2000	*	*	*
22.4		*		224				2240			
25			*	250	*	*	*	2500			*
28				280				2800		*	
31.5	*	*	*	315			*	3150			*
35.5				355		*		3550			
40			*	400			*	4000	*	*	*
45		*		450				4500			
50			*	500	*	*	*	5000			*
56				560				5600		*	
63	*	*	*	630			*	6300			*
71				710		*		7100			
80			*	800			*	8000	*	*	*
90		*		900				9000			
100			*	1000	*	*	*	10000			*
112				1120				11200		*	
125	*	*	*	1250			*	12500			*
140				1400		*		14000			
160			*	1600			*	16000	*	*	*