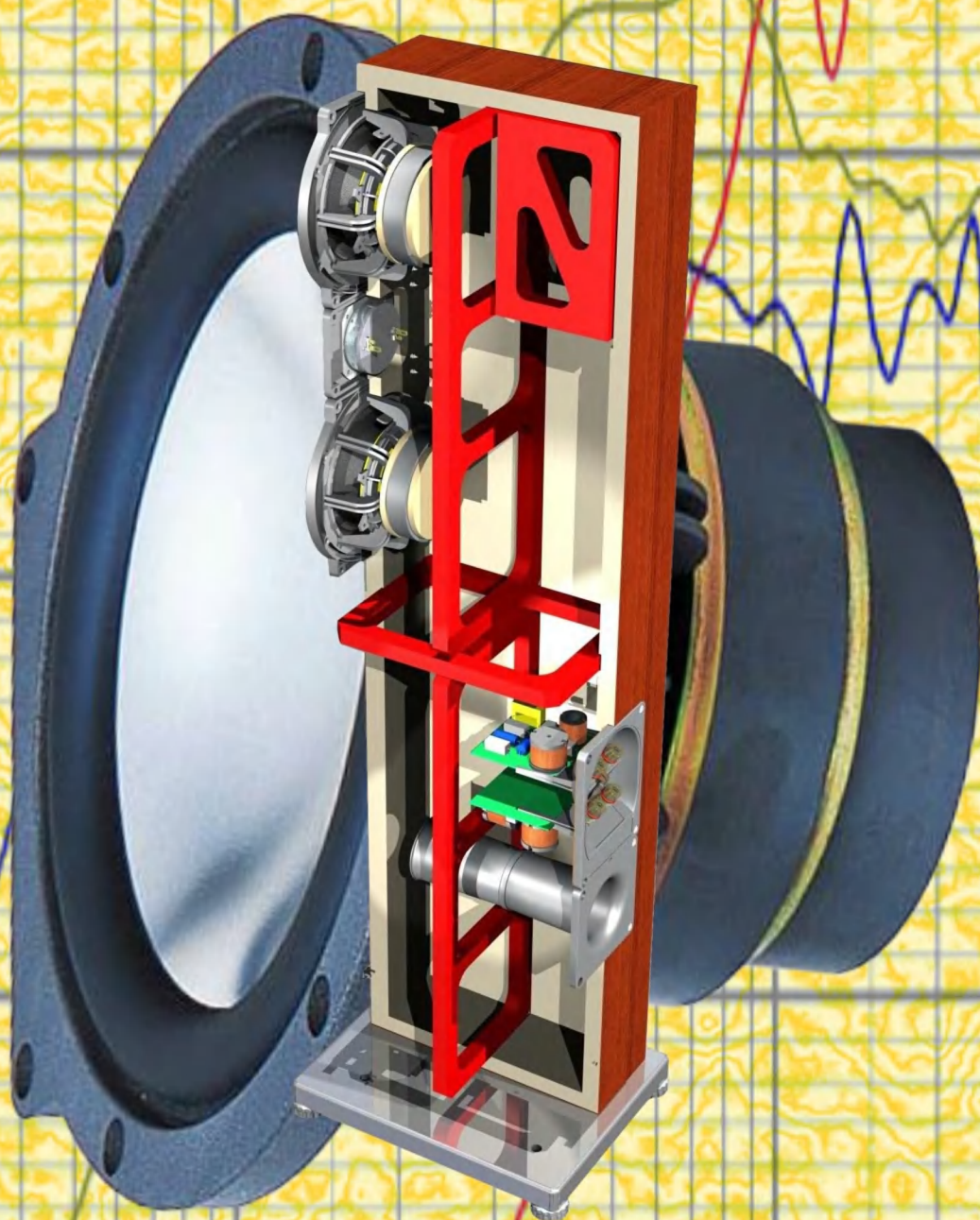


PROIECTAREA INCINTELOR ACUSTICE



Proiectarea INCINTELOR ACUSTICE (I)

Ing. Aurelian MATEESCU

Scurtă introducere. Acest subiect este larg dezbătut de iubitorii de muzică și echipamente de înaltă fidelitate de pretutindeni, diversele tipuri de incinte existente pe piață având adepți uneori la fel de radicali ca și fanii fotbalului, gata să apere sau să nege cu vehemență o incintă sau alta după cum evoluează preferințele lor.

Dar de unde această diversitate de realizări tehnice? Explicația cea mai plauzibilă este legată de construcția urechii umane, de faptul că, la o aceeași „soluție tehnică” aplicată de natură, percepția sunetului, în toată complexitatea sa, este diferită de la om la om, astfel că „nu-i frumos ce e frumos, e frumos ce-mi place mie!”.

Trecând peste exagerările care ridică în slăvi o realizare (o incintă) în detrimentul alteia, trebuie să spunem că singurul adevăr probat rămâne proverbul! În ceea ce privește soluțiile tehnice, acestea nu reprezintă în momentul actual nici o noutate, chiar dacă, în scop de reclamă, o soluție tehnică este „vândută” ca ultima realizare în domeniu:

- incintele închise sunt cunoscute dinainte de anii '50. În 1949, Harry Olson și J. Preston au patentat suspensia acustică. Edgar Villchur și Henry Kloss au fondat „Acoustic Research”, firma care a utilizat această soluție tehnică, incinta AR-3 devenind clasică. Henry Kloss s-a desprins și a fondat alte două companii de succes care au popularizat acest proiect, „KLH” și „Advent”. În 1972, Richard Small a publicat cele mai complete date de proiectare pentru incintele închise;

- incintele deschise (bassreflex) nu sunt nici ele o noutate. În 1932, A.C. Thuras a descris în patentul său interacțiunea dintre difuzor și deschiderea practică în incintă. În anii '50, o serie de cercetători, printre care Beranek, Van Leeuwen, de Boer, Lyon, Locanthi și Novak, au publicat articole care detaliau modelele matematice analogice incintei deschise, filtrele trece-sus. O contribuție importantă la definirea modelului matematic și la stabilirea termenilor pentru proiectare o au lucrările lui A.N. Thiele din 1961, chiar dacă lucrările sale nu cuprind un calcul sistematic al pierderilor din incintă. Articolele lui R. Small publicate începând din 1973 tratează problema pierderilor din incintă și efectul lor asupra linearizării curbei de răspuns, problemă reluată de Robert Bullock, care a contribuit la creșterea acurateții tabelilor de proiectare;

- incintele cu radiator pasiv au fost descrise pentru prima dată în patentul lui Harry Olson „Difuzoare și metode de propagare a sunetului”, apărut în ianuarie 1935. Tot Olson a mai publicat în 1954 o lucrare asupra aceluiași subiect, iar mai recent, în 1973 și 1974, Nomura, Kitamura și Small au mai

publicat articole tratând această temă;

- incintele cu linie de transmisie au la bază realizări datând din anii '30, când labirintul acustic era studiat și realizat de Stromberg și Carlson. Ulterior, A.R. Bailey (în anii '60) și A. T. Bradbury (în 1976) au publicat articole referitoare la cercetările lor asupra acestei soluții tehnice.

Putem astfel să spunem că nu este „nimic nou sub soare” în ceea ce privește soluțiile tehnice adoptate de diversele firme constructoare de incinte acustice. Noutățile tehnice sunt legate aproape exclusiv de introducerea materialelor noi, utilizate în primul rând în domeniul spațial, militar etc., și ne referim la adezivi, materiale pentru membrane, izolatori acustici etc. Aceste materiale au proprietăți care îmbunătățesc performanțele traductoarelor (difuzoarelor), fără să se fi ajuns la o soluție ideală nici în

construcția acestora. Materiale precum kevlarul, aliajele ultraușoare, materialele plastice, spumele metalice sau materialele cu structură tridimensională, utilizate frecvent astăzi în construcția membranelor difuzoarelor, nu au putut înlocui utilizarea majoritară a membranelor din celuloză (hârtie), chiar dacă aceasta a fost armată cu fibre de carbon sau polimeri.

Dacă în cele de mai sus ne-am referit exclusiv la incintele echipate cu difuzoare dinamice, am făcut-o pentru că acest tip de incinte rămâne de departe cel mai răspândit. Incintele echipate cu traductoare electrostatice, deși au performanțe remarcabile și un număr de adepți care le apără cu ferocitate, au și ele scăderile și imperfecțiunile lor.

Trebuie să ne referim și la un alt element care este din ce în ce mai utilizat în proiectarea și construcția incintelor acustice. Este adevărat că, la noi, calculatorul este utilizat în acest scop mai ales în ultimii ani, după ce „furia” accesului la calculator a trecut. Mulți constructori adepți ai calculatorului consideră că utilizarea unor programe sofisticate de proiectare și simulare poate rezolva integral problema realizării unor incinte de performanță. Din păcate, se înșală!

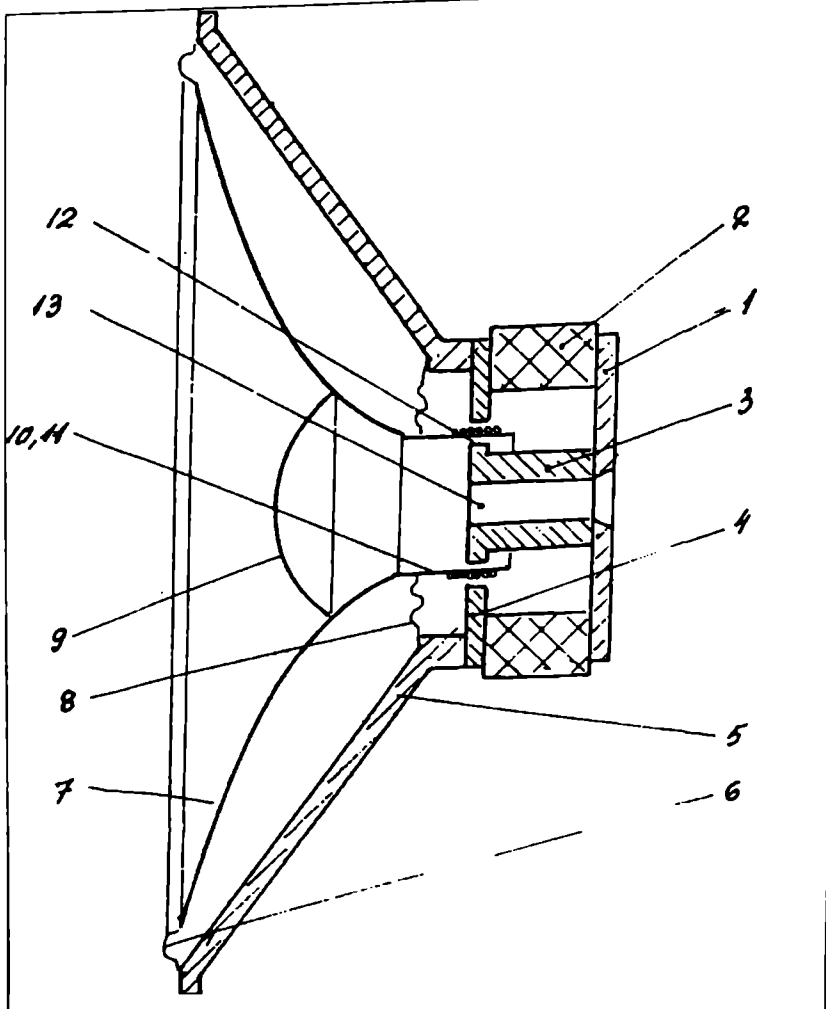


Fig. 1. Construcția difuzorului electrodinamic

După toate determinările efectuate cu ajutorul calculatorului, abia se află la jumătatea drumului, cea de-a doua jumătate fiind cea mai grea, pentru că presupune experimentări practice relativ complexe, uneori fără alte posibilități de măsurare decât cele auditive, pur subiective, dar care sunt extrem de necesare atunci când dorim să obținem un rezultat cât mai bun din puținul de care dispunem.

Utilizarea calculatorului și a unor programe de proiectare și simulare ușurează mult prima fază, atunci când constructorul nu este încă hotărât ce soluție să adopte pentru difuzoarele de care dispune; ulterior, după ce a elaborat, cu ajutorul calculatorului, soluția care i se pare optimă și trece la realizarea ei, va trebui să experimenteze cu răbdare modificări ale materialelor fonoabsorbante, ale rețelei pasive, uneori chiar de poziționare a difuzoarelor pentru a obține un maximum de performanțe în ceea ce privește neutralitatea timbrală, coerența imaginii sonore, claritatea emisiilor etc.

Materialele ce urmează reprezintă, poate, cel mai complet îndrumar de proiectare a incintelor acustice publicat până acum în țara noastră, cuprinzând o mare cantitate de date și formule de calcul pentru toate elementele componente ale unei incinte. Materialele fac parte dintr-o lucrare mai amplă, pe care sper s-o pot oferi celor interesați până la sfârșitul anului viitor.

Capitolul 1. Traductoare electroacustice

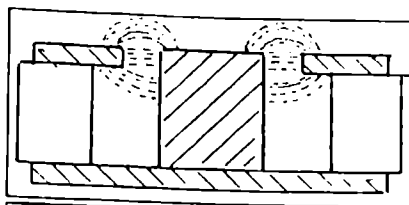
De la apariția primului traductor electroacustic capabil să transforme în sunet un semnal de audiofrecvență a trecut mai bine de un secol. Aceste traductoare au evoluat cu scopul declarat de a servi cât mai bine obiectivului propus prin însăși denumirea lor; redarea cât mai fidelă a sunetelor. S-au descoperit și perfecționat mai multe tipuri de traductoare electroacustice, numite curent difuzoare. Constructiv ele sunt:

1. - difuzoare magnetice: cunoscute sub denumirea de difuzoare cu paletă liberă, asemănătoare cu căștile electromagnetice, dar, datorită performanțelor slabe, sunt deja istorie;

2. - difuzoarele dinamice, care pot fi de două feluri: electrodinamice (la care câmpul magnetic este obținut cu ajutorul unei bobine parcurse de curent continuu) și permanente dinamice, la care câmpul magnetic este creat de un magnet permanent, varianta cea mai răspândită;

3. - difuzoare electrostatice, care sunt formate din două armături, o membrană de material izolator cu grosimea de 20-30 microni pe care se află o depunere metalică, conductoare, ce reprezintă primul electrod. Cel de-al doilea electrod este reprezentat de o placă metalică fină. Între cei doi electrozi se creează un câmp electric prin aplicarea unui potențial cuprins între 200-400 volți. Semnalul audio aplicat pe metalizarea primului electrod provoacă deplasarea acestuia în câmpul electric și generarea sunetului. Este propice pentru frecvențe medii și înalte, cu parametri foarte buni, dar necesită alimentarea cu tensiune constantă și sistem de adaptare;

4. - difuzoare piezoelectrice,



Geometria întrefierului
Fig. 2 a

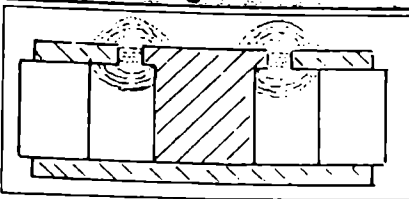


Fig. 2 b

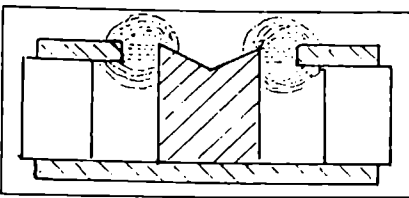


Fig. 2 c

utilizate în special pentru frecvențe înalte. Puterea este limitată de posibilitățile de deformare mecanică ale elementului piezoelectric.

Dintre tipurile citate până acum, difuzoarele dinamice, respectiv cele echipate cu magnet permanent, au cea mai largă răspândire. Fabricația lor este extrem de diversă și specializată, funcție de aplicația avută în vedere: pentru audii de calitate, pentru sonorizări în mașină sau în aer liber, pentru echiparea receptoarelor TV etc.

Construcția. Un difuzor dinamic este construit conform figuri nr. 1 și cuprinde următoarele elemente:

1. - o placă spate, metalică, de multe ori făcând corp comun cu piesa polară (3);

2. - magnetul permanent, la majoritatea difuzoarelor fiind din ferită. La difuzoarele pentru reproducerea frecvențelor înalte (tweetere) se utilizează ferite din pământuri rare, ce asigură un câmp magnetic foarte puternic;

3. - piesa polară centrală, executată din metal, de forma sa depinzând mult calitatea difuzorului;

4. - placa polară frontală;

5. - cadrul difuzorului, care este prins rigid de piesa polară frontală și susține toate elementele componente ale difuzorului. Se execută din tablă ambușată (ieftin), masă plastică de mare rigiditate, injectată și prelucrată, sau din aliaje ușoare turnate și apoi prelucrate. Rigiditatea este prima cerință impusă acestei componente;

6. - suspensia membranei (rila);

7. - membrana - elementul cel mai important - trebuie să fie cât mai rigidă, dar și cât mai ușoară;

8. - suspensia de centrare (spiderul) este confecționată de cele mai multe ori din pânză specială

impregnată. Asigură deplasarea corectă a echipajului mobil (bobina și suportul său) în spațiul dintre piesele polare (3) și (4), spațiu numit curent întrefier (12);

9. - capacul de protecție al echipajului mobil;

10. - suportul bobinei mobile, executat, după cerințe, din materiale diverse, de la hârtie impregnată la Kapton sau folii metalice (Al);

11. - bobina mobilă, executată din conductor de cupru sau aluminiu cu secțiune circulară, patră, dreptunghiulară sau chiar hexagonală, izolată cu lacuri termorezistente speciale, într-un singur strat sau mai multe (două, patru sau chiar opt straturi);

12 - întrefierul;

13 - deschidere obținută prin găurirea piesei polare centrale, cu scopul de a îmbunătăți disiparea termică și a egaliza presiunea dintre mediu și spațiul din spatele capacului de protecție;

14 - firele de legătură ale bobinei mobile (numite curent fire leonice) cu placa de borne 15. Aceste elemente nu sunt figurate pe desen.

Funcționarea difuzorului dinamic este similară cu funcționarea motorului electric. Aplicând un semnal electric bobinei mobile, ia naștere un câmp magnetic care va interacționa cu câmpul magnetic al magnetului permanent. Va apărea o forță mecanică ce va provoca deplasarea membranei difuzorului, membrana solidară cu suportul bobinei mobile. Dacă semnalul electric este un curent continuu, membrana va fi deplasată către interiorul sau exteriorul șasiului difuzorului, în funcție de sensul curentului, și va rămâne deplasată atât timp cât este aplicat curentul continuu. În cazul aplicării unui curent alternativ, în semiperioada pozitivă membrana se va deplasa într-un sens, iar la inversarea sensului, în semiperioada negativă, deplasarea bobinei se va face în sens contrar. Pentru a reproduce cu acuratețe unda electrică sinusoidală, bobina mobilă trebuie să se deplaseze în interiorul întrefierului egal în ambele direcții. Pentru aceasta este deosebit de importantă simetria câmpului magnetic din întrefier: în caz contrar semnalul acustic generat se distorsionează. În figurile 2a, 2b, 2c sunt prezentate geometriile curente ale întrefierului și influența lor asupra uniformității câmpului din întrefier. Se observă că, în fig. 2a, liniile de câmp care nu sunt în întrefier au lungimi diferite și, ca atare, câmpul magnetic este neuniform. O construcție adecvată a pieselor polare, ca în figurile 2b sau 2c, conduce la o uniformizare a liniilor de câmp și, ca atare, se evită apariția distorsiunilor.

Forța mecanică dezvoltată de bobina mobilă la trecerea unui curent prin ea este reprezentată de produsul $B \times L$, forța produsă de un număr de spire dat (L) aflate într-un câmp magnetic dat pe unitatea de suprafață (B). Această caracteristică a difuzorului este măsurată în Tm/N, respectiv tesla metri/newton, și este un parametru important al fiecărui difuzor.

(Continuare în numărul viitor)

Proiectarea DIFUZORILOR ACUSTICE (II)

Ing. Aurelian MATEESCU

(Urmare din numărul trecut)

geometria întrefierului și a elementelor ce îl compun este un alt element important al difuzorului. Constructiv, se pot întâlni două variante în ceea ce privește geometria componentelor întrefierului:

- fig. 3a - bobina mobilă este mai mică în lungime decât lungimea întrefierului;

- fig. 3b - bobina mobilă este mai lungă decât lungimea întrefierului.

În practică, cel de-al doilea caz este cel mai întâlnit. În cele două figuri s-a notat cu X_{max} deplasarea maximă a bobinei mobile într-o direcție, menținându-se constant un număr dat de spire în întrefier.

$X_{max} = (L_b - L_i)/2$ în care

L_b = lungimea bobinei mobile;

L_i = lungimea întrefierului.

Un difuzor lucrează linear dacă numărul de spire aflat în întrefier este constant, deoarece produsul $B \times L$ rămâne constant.

Atunci când bobina este mai mică în lungime decât întrefierul (fig. 3a), linearitatea mișcării sale se manifestă pe o lungime X_{max} foarte mică. Bobina mică înseamnă o masă mică, deci și parametri foarte buni, dar valoarea mică a lui X_{max} este un dezavantaj major.

În celălalt caz se asigură o linearitate relativ bună, dar o eficiență mai mare, chiar dacă în acest caz masa echipajului mobil este mai mare, din care cauză a fost aproape unanim adoptat de fabricanții de difuzoare.

Inelul lui Faraday. Curentul electric ce induce mișcarea în câmpul magnetic al bobinei mobile este cauza unui curent rezidual, de sens opus curentului care-l generează și care creează o forță electromotoare opusă celei generate de semnalul util din bobină. Ea apare în bobina mobilă, care în acest caz acționează ca armătura unui generator. Acest efect, împreună cu câmpul generat de curentul semnalului util, produce o modulație a câmpului magnetic din întrefier. Fenomenul a fost sesizat de W. J. Cunningham în 1949 și are dezavantajul ca produce distorsiuni armonice de ordinul 2 de valori semnificative. Din studii mai aprofundate s-a constatat că modularea câmpului magnetic nici nu este simetrică, ea depinzând de sensul în care se deplasează bobina mobilă prin întrefier.

Cauza fenomenului se datorează în parte piesei polare, care se

comportă ca un miez de transformator. Totodată, fluxul magnetic al bobinei mobile interacționează cu liniile de câmp periferice, modificând forma câmpului magnetic periferic. Această observație explică, în parte, beneficiile asigurate de configurațiile de funcționare în push-pull a difuzoarelor de frecvențe joase (woofere).

Metodele de rezolvare a acestei probleme sunt:

- utilizarea de materiale cu mare permeabilitate magnetică în zona din imediata apropiere a bobinei mobile, astfel ca metalul să fie totdeauna saturat, de unde și o influență minimă asupra circuitului magnetic. Această metodă nu este foarte răspândită datorită costului ridicat al metalelor cu permeabilitate foarte mare;

- utilizarea unei spire în scurt-circuit, care are rolul de a genera un câmp magnetic egal și de sens contrar câmpului indus de bobina mobilă. În figura nr. 4 sunt prezentate câteva soluții constructive utilizate curent: un cilindru subțire din cupru peste capul piesei polare (a), un căpăcel din cupru peste capul piesei polare (b), un cilindru de cupru semiînchis (c), un inel de aluminiu sau cupru ce formează o spirală în scurtcircuit la baza piesei polare centrale (d).

Primele trei variante au și un alt avantaj: reduc inductanța efectivă a bobinei mobile și se obține un răspuns mai bun la frecvențe înalte. Prin aceste metode se poate face un control al răspunsului difuzorului la frecvențe medii și înalte. Inelul ce formează o spirală în scurtcircuit la baza piesei polare reduce distorsiunile armonice de ordinul 2, dar nu afectează inductanța bobinei mobile și nu controlează răspunsul în frecvență al difuzorului în domeniul medii și înalte.

Membrana. Este un element component deosebit de important al difuzorului. Rolul său este de a asigura transmiterea energiei mecanice generate de bobina mobilă către aerul din vecinătatea membranei: „ca să produci sunet trebuie să miști aerul!”. Primul model fizico-matematic al membranei difuzorului a fost gândit asemănător cu un piston ideal care împinge aerul sub acțiunea unei forțe. Transferul mișcării de la pistonul reprezentat de membrană la masa de aer din fața sa

este un fenomen complex, cu multe elemente puternic influențate de frecvență: la frecvențe joase de frecvență de rezonanță a difuzorului, iar la frecvențe înalte de impedanță de radiație a aerului. Aerul opune rezistență la mișcarea membranei, impedanța de radiație, care scade cu frecvența până la un punct la care o creștere a frecvenței va conduce la o creștere în aceeași proporție a impedanței de radiație. Valoarea acestei frecvențe înalte este o funcție ce depinde de impedanța de radiație și de suprafața de radiație. Suprafețele mai mici pot reproduce frecvențe mai ridicate decât suprafețele mari, fapt utilizat la fabricația de difuzoare specializate pentru reproducerea unui domeniu anumit de frecvență.

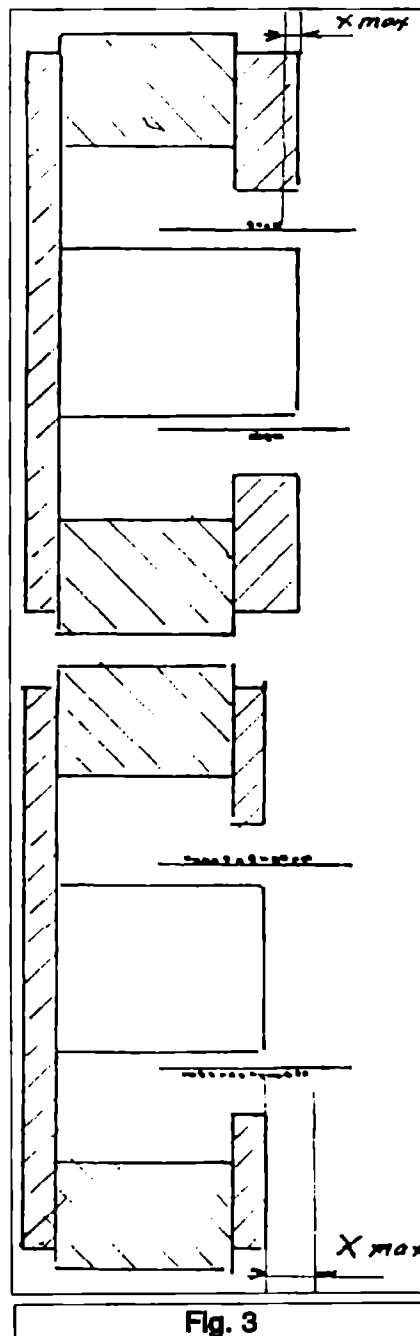


Fig. 3

Trebuie să mai menționăm că, în practică, membrana unui difuzor nu este un piston ideal, complet rigid, ci se deformează sub acțiunea forțelor la care este supus. Această deformare are un efect important asupra eficienței la frecvențe înalte, a răspunsului în frecvență, a presiunii acustice maxime și a răspunsului polar.

Deformarea membranei. Deformările ce apar la membrana unui difuzor în timpul funcționării sunt împărțite în deformări radiale și deformări concentrice.

Deformările radiale se extind de la centrul membranei către periferie și apar în special la reproducerea frecvențelor joase.

Deformările concentrice sunt similare ca formă cu undele care apar atunci când într-o apă liniștită este aruncată o piatră. Numărul undelor care iau naștere variază cu frecvența, unele sunt reflectate înapoi de la margine către centrul membranei, creând interferențe. Unele unde sunt în fază cu semnalul din bobina mobilă, altele sunt în antifază. Acest fenomen complex determină apariția a numeroase neregularități în caracteristica de frecvență a difuzorului.

O dată cu creșterea frecvenței, suprafața radiantă a membranei scade, astfel că frecvențele foarte înalte sunt radiate numai din centrul membranei difuzorului. La anumite frecvențe, masa radiantă a membranei devine mică și se observă o scădere accentuată a puterii emise, frecvență numită de inflexiune (punct de inflexiune). Pentru ca această frecvență să se situeze cât mai aproape de capătul superior al benzii audio, trebuie ca raportul dintre masa bobinei mobile și cea a membranei să fie cât mai mic posibil.

Directivitatea. Cu creșterea frecvenței, difuzoarele devin tot mai directive, astfel că frecvențele înalte scad ca presiune sonoră pe măsură ce ne depărtăm de axa difuzorului. La frecvențe la care lungimea de undă a sunetului este mare comparativ cu mărimea membranei (circa de trei ori diametrul membranei), radiația sonoră este sferică. Atunci când frecvența are lungimea de undă egală sau mai mică decât diametrul difuzorului, radiația își micșorează domeniul pentru care păstrează o valoare dată.

Forma membranelor. În mod curent se utilizează două forme ale membranelor:

- forma conică (dreaptă). Această formă are un vârf la capătul superior al benzii de frecvență reproduse, vârf a cărui localizare depinde în parte de unghiul conului. Comparativ cu cealaltă formă, lărgimea benzii de frecvență reprodusă este mai largă.

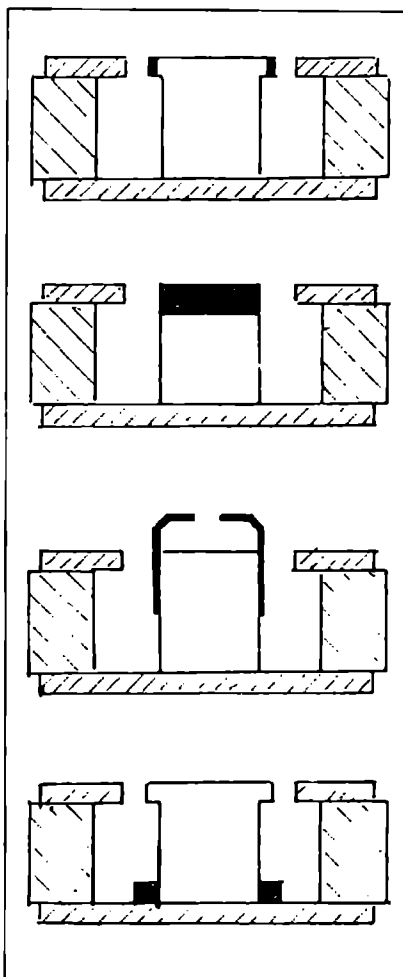


Fig. 4

- forma convexă, care are avantajul unui răspuns în frecvență mai drept și un vârf moderat la frecvențe superioare (o eficiență mai scăzută în reproducerea frecvențelor înalte). Răspunsul în frecvență al acestui tip de membrană poate fi controlat prin schimbarea curburii conului.

Capacul de protecție. Capacul de protecție închide accesul particulelor străine care ar putea ajunge între suportul bobinei mobile și piesa polară centrală, cu consecințe extrem de supărătoare. Acoperirea cu acest capac a zonei menționate rezolvă problema citată, dar creează altele. În mod curent se utilizează două feluri de capace: etanșe și poroase (neetanșe).

Un capac etanș nu permite trecerea aerului și determină, în spatele său, formarea unei camere acustice în care apar modificări ale presiunii aerului o dată cu mișcarea membranei înainte și înapoi față de poziția de repaus. Pentru rezolvare sunt două soluții aplicate curent:

- una prevede găurirea piesei centrale polare, punând în legătură camera acustică din spatele capacului cu mediul ambiant;
- cealaltă prevede perforarea suportului bobinei mobile în imediata vecinătate a fixării de membrană.

Capacul poros rezolvă din construcție această problemă, dar creează altele:

- nu mai există etanșeitate între față și spatele difuzorului atunci când acesta este montat într-o incintă

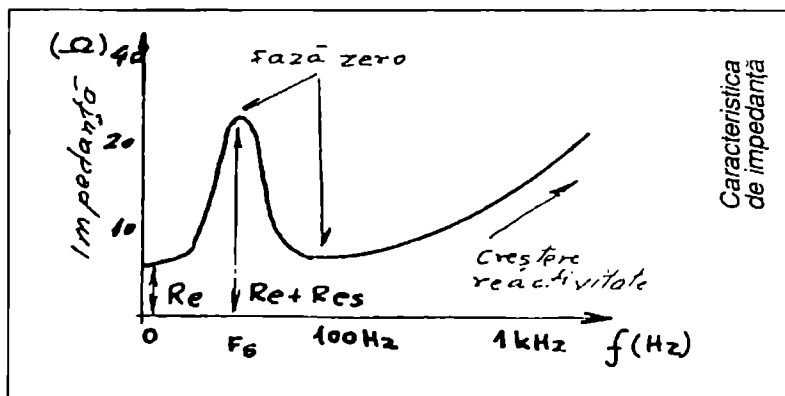


Fig. 5

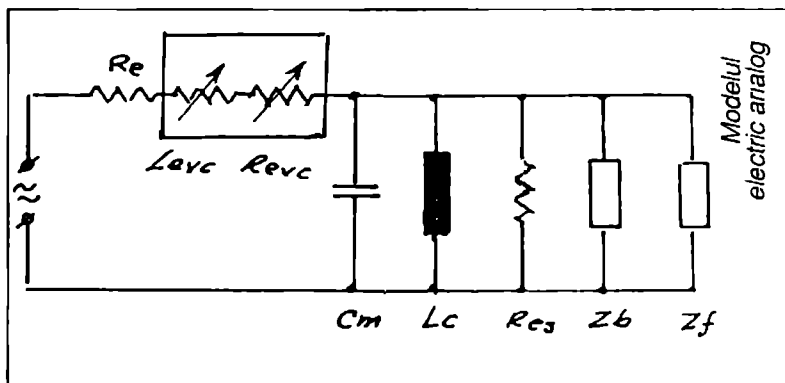


Fig. 6

acustica. Faptul nu este foarte semnificativ, mai ales comparat cu cazul în care suspensia membranei difuzorului este din pânză.

la mișcarea către înapoi a membranei, aerul din camera acustică este expulzat în sens invers aerului antrenat de membrană, ceea ce poate crea modificări ale frecvenței de răspuns. Totodată, nu se recomandă etanșarea capacului poros al unui difuzor, pentru că fabricantul l-a montat în scopul răcirii echipajului mobil și a ținut cont de construcția sa de la început. Curentul de aer prin întrefier, generat de mișcarea membranei, are un rol deosebit de important în fiabilitatea difuzorului. Etanșarea acestui capac poate provoca schimbări ale factorului Q care pot fi nedorite.

Capacul de protecție al difuzorului modifică răspunsul în frecvență al acestuia la capătul superior al benzii, dacă ținem cont că radiația frecvențelor înalte se face de către suprafața membranei aflate în imediata vecinătate a centrului său. Oricum, comparativ cu cele poroase, capacele etanșe au o influență mai evidentă în funcționarea difuzorului.

Având în vedere cele spuse anterior privind comportarea membranei la frecvențele înalte, să ne oprim asupra soluțiilor adoptate la difuzoarele specializate pentru reproducerea acestor frecvențe. Forma generalizată este de dom sferic cu două variante: domul convex și cel concav (inversat).

Domul concav are o mai mare eficiență la frecvențe înalte, dar o directivitate mai restrânsă.

Domul convex, uzual executat din materiale dure, are o directivitate mai largă la frecvențe înalte, dar o eficiență mai scăzută.

Suspensia membranei. Suspensia membranei este alcătuită la un difuzor din două elemente distincte:

- suspensia exterioră (rila), aflată la periferia membranei, executată în mod curent din spumă poliuretanică preformată, cauciuc sau pânză tratată, are rolul de a menține membrana centrată și asigură o parte din forța ce readuce membrana în poziția de repaus atunci când nu este aplicat nici un semnal electric. Alegerea grosimii și tipului de material ale rilei are o influență serioasă asupra răspunsului unui difuzor. Modul cum aceasta amortizează și previne reflexiile ce apar în membrană în timpul funcționării fac ca acest element să fie deosebit de important;

- suspensia de centrare (spiderul) este curent executată din pânză tratată și are câteva funcțiuni: menține centrarea bobinei mobile în întrefier, împiedică pătrunderea particulelor străine în întrefier, dar principala sa funcție este aceea de a asigura circa 80% din forța necesară readucerii bobinei în poziția de

repaus. Rigiditatea spiderului este cea care determină rezonanța difuzorului:

$$f_s = (6,28(C_s \times M_d)^{1/2})^{-1}, \text{ unde:}$$

f_s = frecvența de rezonanță în aer liber a difuzorului;

C_s = coeficientul de rezistență al difuzorului;

M_d = masa totală a părții mobile (bobina, suportul ei, membrana, rila, spiderul, capacul plus sarcina masică în aer liber).

Logic, este evident că tipul cel mai bun de suspensie se va dovedi acela care prezintă o forță constantă de revenire a sistemului mobil la poziția de echilibru în tot domeniul de lucru. Acest lucru este valabil pentru difuzoarele care lucrează în incintele închise, în care rezistența opusă de aerul comprimat în incintă acționează ca o forță de revenire asupra membranei.

În cazul difuzoarelor care lucrează în incinte deschise, apare un fenomen neliniar în timpul funcționării. Pe măsură ce bobina se deplasează, astfel că mai multe spire sunt în afara întrefierului, produsul BL scade, forța electromotoare inversă scade și bobina „trage” mai mult curent, ceea ce scoate bobina și mai mult din întrefier, cu apariția de distorsiuni. Dacă suspensia difuzorului acționează progresiv, atunci el se opune acestui fenomen generator de distorsiuni. Acest tip de suspensie are o rigiditate sporită pe măsura scăderii produsului BL, prevenindu-se ieșirea bobinei din întrefier. Acest tip de suspensie este utilizat cu predilecție la wooferele profesionale cu presiune acustică mare (SPL).

Impedanța difuzorului. Toate elementele componente ale difuzorului descrise mai sus pot fi modelate matematic. În figura 5 este prezentată caracteristica de impedanță a unui difuzor, iar în figura 6 apare un model electric analog. Elementele de circuit sunt:

R_e = rezistența în cc a difuzorului;
 R_{evc} = componenta rezistivă dependentă de frecvență a bobinei (partea reală a inductanței bobinei);

L_{evc} = componenta inductivă dependentă de frecvență a bobinei (partea imaginară a inductanței bobinei);

C_m = capacitanța electrică datorată masei echipamentului mobil;
 L_c = inductanța datorată rigidității echipamentului;

R_{es} = rezistența electrică datorată pierderilor din echipamentul mobil;

Z_b = impedanța radiației spate a echipamentului mobil;

Z_f = impedanța radiației frontale a echipamentului mobil.

Eficiența difuzorului. Sunetul produs într-un spațiu dat prin aplicarea unei anumite puteri electrice unui difuzor depinde direct de eficiența difuzorului și de volumul de aer pe care încearcă să-l excite. Majoritatea difuzoarelor au o eficiență scăzută, cuprinsă între 0,5-2%. Înainte de a trece la construcția unei incinte acustice, este necesar să se stabilească ce nivel sonor se dorește să se atingă în spațiul de audiere. Diagrama din figura 7 vă ajută să stabiliți, funcție de mărimea încăperii de audiere și nivelul sonor dorit, necesarul de putere acustică.

(Continuare în numărul viitor)

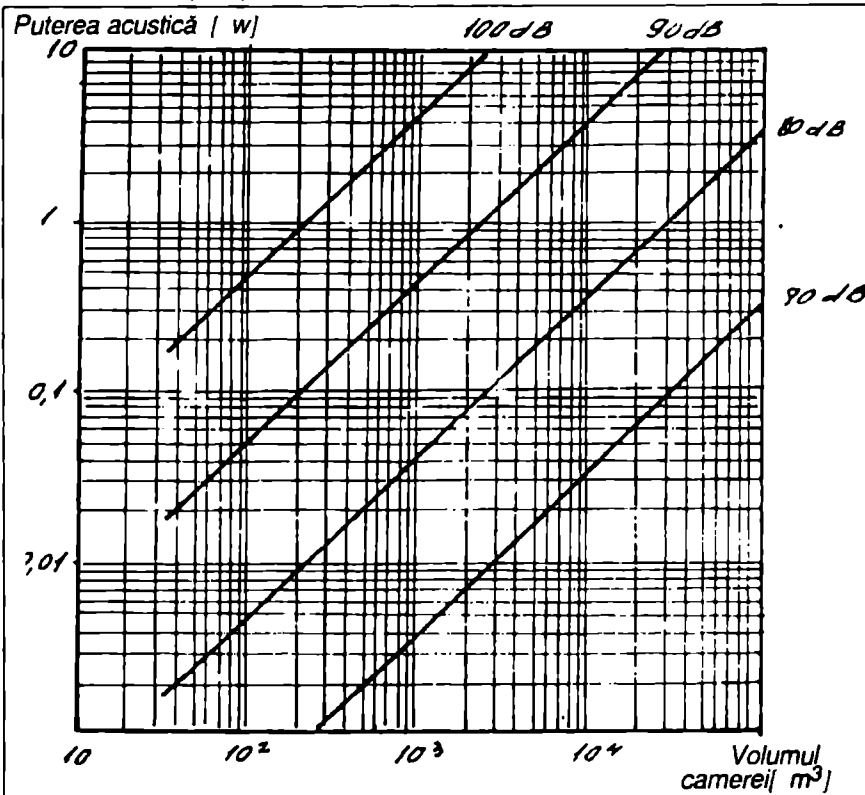


Fig. 7 Diagrama puterii acustice

Proiectarea INCINTELOR ACUSTICE (III)

Ing. Aurelian MATEESCU

(Urmare din numărul trecut)

Incinte închise

Definiție. Incinta închisă reprezintă rezolvarea cea mai simplă privind separarea celor două unde acustice emise de membrana difuzorului, rezolvare constând în închiderea etanșă a unui volum de aer în interiorul unei incinte în care este montat un difuzor.

Circuitul electric și pneumatic al acestui tip de incintă este analog cu un filtru trece - sus de ordinul 2, având răspunsul controlat de rezonanță și de amortizarea asociată. Constructiv se întâlnesc două variante de incinte închise:

- panou infinit (the infinite baffle), denumire ce provine de la modul de comportare a panoului acustic infinit. Volumul acestui tip de incintă este suficient de mare, astfel ca rezistența pneumatică a aerului (compliance) din incintă să fie mai mare decât rezistența opusă de suspensia difuzorului;

- suspensie acustică (the air suspension), caz în care rezistența opusă de aerul din incintă este mai mică decât rezistența suspensiei difuzorului de cel puțin trei ori.

Această combinație dintre o suspensie „moale” și o incintă de volum mic a fost și încă este des utilizată de fabricanții de incinte. Incinta închisă poate fi bine controlată în ceea ce privește caracteristica de răspuns în frecvență, ca și răspunsul la semnale tranzitorii. Acest tip de incintă a fost deosebit de popular încă de la începutul anilor '50. Suspensia acustică, brevetată de Harry Olson și J. Preston în 1949, a condus la cercetări și experimentări largi, o contribuție însemnată având Edgar Villchur, fondator al firmei Acoustic Research (împreună cu Henry Kloss). Kloss a fondat alte două firme de renume, KLH și Advent, care au popularizat soluția suspensiei acustice. În anul 1972, Richard Small a publicat două articole care sintetizează toate datele referitoare la incintele închise.

- **Definiția termenilor.** În cele ce urmează se vor utiliza o serie de termeni definiți după cum urmează:

- f_3 = frecvența la care începe inflexiunea la capătul inferior al benzii de frecvență, corespunzătoare înjumătățirii puterii și scăderii presiunii cu - 3 dB;

- f_s = frecvența de rezonanță a difuzorului;

- f_c = frecvența de rezonanță a sistemului format de difuzor montat în incinta închisă;

- Q = raportul reactanță/rezistență (la circuitul serie) sau rezistență/reactanță (la circuitul paralel);

- Q_{ts} = Q total al difuzorului la f_s , (luând în calcul toate rezistențele difuzorului);

- Q_{tc} = Q total al sistemului format de difuzor + incinta închisă (considerând toate rezistențele);

- V_{as} = volumul de aer ce are aceeași rezistență acustică cu suspensia difuzorului;

- V_{ab} = volumul de aer care are aceeași rezistență acustică cu incinta;

- X_{max} = deplasarea lineară maximă a conului difuzorului;

- V_d = volumul maxim determinat prin deplasarea maximă a conului difuzorului X_{max} ;

- S_d = suprafața efectivă a conului difuzorului;

- V_b = volumul intern net al incintei;

- a = raportul rezistențelor acustice;

- n = randamentul;

- C_{as} = rezistența acustică a suspensiei difuzorului;

- C_{ab} = rezistența acustică a aerului din incintă.

Un loc important în această lucrare îl va avea factorul Q , factor care descrie ce se întâmplă cu rezonanța incintei: el reprezintă interacțiunea factorilor electrice, mecanici și pneumatici, modul cum aceștia, în combinație, controlează rezonanța combinației difuzor + incintă.

Figura 3.1. ilustrează relația între diferite valori ale coeficientului Q și răspunsul în frecvență al combinației difuzor + incintă. Din observarea acestei figuri se pot trage câteva concluzii.

La capătul inferior al benzii audio, incinta închisă prezintă o pantă de tăiere relativ puțin abruptă, de circa 12 dB/octavă. Comparativ cu o incintă bassreflex sau cu radiator pasiv, care prezintă o pantă de 24 dB/octavă, o incintă închisă care are aceeași valoare pentru f_3 va prezenta un răspuns mai bun la frecvențe joase („mai mult bas”) și o stabilitate mai mare în reproducerea semnalelor tranzitorii.

Câteva valori ale coeficientului Q pot fi asociate cu caracteristici de răspuns specifice, care pot fi categorisite după cum urmează:

- 1) $Q_{tc} = 0,5$ amortizarea este critică, reproducerea semnalelor tranzitorii este perfectă;

- 2) $Q_{tc} = 1/\sqrt{3} = 0,577$ (răspuns conform funcției Bessel - D2) curba de răspuns cu aplatizare maximă;

- 3) $Q_{tc} = 1/\sqrt{2} = 0,707$ (răspuns Butterworth - B2) curba de răspuns cu aplatizare maximă și pantă de tăiere minimă;

- 4) $Q_{tc} > 1/\sqrt{2} > 0,707$ (răspuns Cebășev - eliptic - C2) putere preluată maximă, eficiență maximă, cu degradarea răspunsului la semnale tranzitorii, dar în limite acceptabile.

Asupra valorilor lui Q se pot face și alte aprecieri, mai ales că acesta poate lua valori continue, fiecare valoare având influență asupra calității sunetului generat de incintă:

- valori ale coeficientului Q_{tc} în jurul valorii 1 conferă incintei căldură și putere a sunetului, fapt apreciat de către auditoriu;

- dacă valoarea lui Q scade în jurul valorii de 0,8, reproducerea semnalelor tranzitorii se îmbunătățește și sunetul emis conține mai multe detalii, fiind totuși mai superficial, lipsit de adâncime;

- dacă se ajunge la valori ale lui Q în jur de 0,5, sunetul pare puternic amortizat și „încordat”. Totuși, unii

fabricanți consideră valorile lui Q cuprinse în intervalul (0,5-0,6) ca fiind optime, tot așa cum s-au construit difuzoare la care coeficientul Q are valoarea de 1,2, valoare considerată prea mare de unii specialiști. Depășirea valorii de $Q = 1,2$ este considerată ca indezirabilă.

Un studiu mai vechi asupra incintelor de tip suspensie acustică comercializate în anii '70 a arătat că acestea se puteau încadra aproape fără excepție în două categorii:

1) - $Q_{tc} = \max 1,1$ și capătul benzii de frecvențe joase situat sub 50 Hz s-a găsit la incinte al căror volum era de peste 1,4 picioare cubice (mai mare de 40 litri).

2) - Q_{tc} cuprins în intervalul 1,2-2,0 și capătul inferior al benzii aflat peste 50 Hz - incinte la care volumul se află sub valoarea de 56 de litri.

Primul tip de incintă este caracterizat de emisia unui bas bun pentru audițiile de muzică simfonică și clasică, în timp ce al doilea tip prezintă un bas mai puternic, caracteristic pentru muzica pop și rock.

Vom considera tabelul 3.1. care ilustrează relația între Q_{tc} și vârful frecvenței de răspuns situat deasupra caracteristicii plate de răspuns în frecvență. Frecvența menționată, notată f_{gmax} , este dată în raport cu frecvența de rezonanță a incintei, notată f_c . Tabelul mai cuprinde raportul dintre frecvența f_{xmax} și f_c , adică dintre frecvența la care apare deplasarea maximă a conului difuzorului și frecvența de rezonanță a incintei.

Tabelul 3.1.

Q_{tc}	Peak dB	f_{gmax}/f_c	f_{xmax}/f_c
0,5	0	-	0
0,577	0	-	0
0,707	0	-	0
0,8	0,213	2,138	0,468
0,9	0,687	1,616	0,619
1,0	1,249	1,414	0,707
1,1	1,833	1,305	0,766
1,2	2,412	1,238	0,808
1,3	2,974	1,192	0,839
1,4	3,515	1,159	0,863
1,5	4,033	1,134	0,882

unde:

$$\text{Peak dB} = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{4}{a_{tc}^2 - 0,25}}$$

$$f_{gmax} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2a_{tc}^2}}}$$

$$f_{xmax} = \sqrt{1 - \frac{1}{2a_{tc}^2}}$$

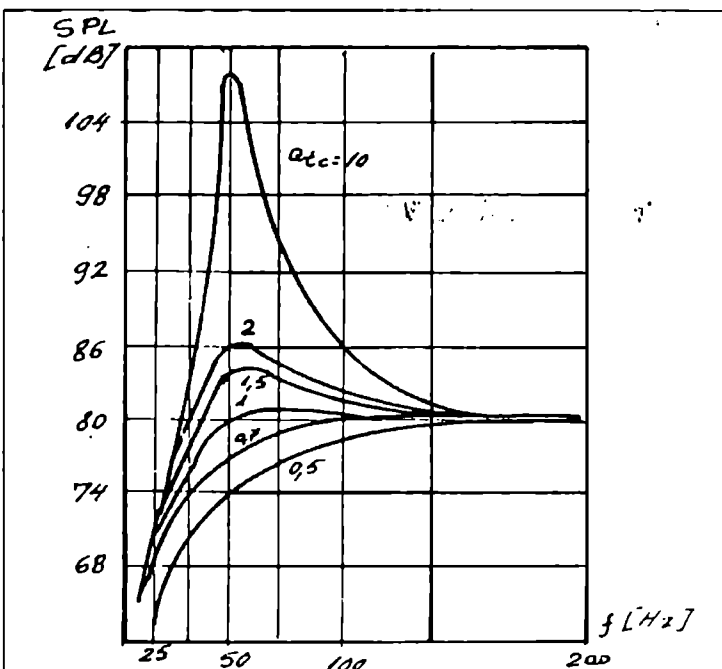


Figura 3.1. Răspunsul în frecvență funcție de Q_{tc}

Alegerea difuzorului. Construcția incintei. Difuzoarele pentru reproducerea frecvențelor joase (woofere) pretabile la construcția incintelor închise sunt caracterizate prin:

- frecvența de rezonanță în aer liber (f_s) cu valoare mică;
- masa membranei relativ mare;
- bobine lungi;
- Q_{ts} cu valori mai mari de 0,3.

Aceste considerente implică utilizarea difuzoarelor cu magneți de dimensiuni moderate. Se va evita utilizarea difuzoarelor cu magneți

difuzorului într-o incintă închisă, în timp ce o valoare în jur de 100 indică utilizarea unei incinte de tip bassreflex ca propice pentru wooferul în cauză. O bobină lungă este foarte importantă în cazul incintei închise, deoarece echipajul mobil are valori ale deplasării mai mari decât la incintele bassreflex. În termeni practici, aceasta înseamnă 2-4 mm pentru woofere cu diametrul cuprins între 150-200 mm și 5-8 mm pentru woofere cu diametrul cuprins între 250-300 mm. În cazul în care fabricantul nu specifică valoarea lui X_{max} , puteți face o verificare cu ajutorul unei lămpi puternice care să vă permită să vedeți bobina prin spiderul executat din pânză rară, impregnată.

Incinta închisă trebuie să fie etanșă, indiferent de metoda de construcție, etanșarea putându-se executa cu aracet gros de tămplărie sau cu mastic silconic, peste tot unde există pericolul neetanșeității: la montarea difuzoarelor, a plăcii de borne, la îmbinări etc. O problemă de etanșare poate fi creată de rilele poroase, din pânză impregnată, sau de căpăcelele de praf poroase ce astupă centrul membranei. Deoarece rezolvarea acestor probleme creează altele, mult mai greu de controlat și rezolvat, vom considera că fabricantul a știut ce face și de ce alege aceste soluții constructive (căpăcelul poros îmbunătățește răcirea echipajului mobil și etanșarea lui poate conduce la distrugerea prematură a bobinei prin supraîncălzire și modificări neliniare ale Q -ului difuzorului). Se va evita utilizarea de woofere cu suspensie poroasă a membranei.

(Continuare în numărul viitor)

Proiectarea INCINTELOR ACUSTICE (IV)

Ing. Aurelian MATEESCU

(Urmare din nr. trecut)

Determinarea dimensiunilor incintei. Pentru a putea determina dimensiunile unei incinte închise este necesară cunoașterea unor parametri tehnici ai wooferului utilizat:

- f_s = frecvența de rezonanță a wooferului în aer liber;
- Q_{ts} = Q total al wooferului;
- V_{as} = volumul de aer a cărui rezistență acustică este egală cu cea a wooferului;

- X_{max} = deplasarea lineară maximă a conului difuzorului, exprimată în mm;

- S_d = suprafața radiantă efectivă a membranei, în m^2 ;

- V_d = volumul de aer dislocuit de membrană la deplasarea X_{max} : $V_d = S_d \times X_{max}$ (în mc).

Parametrii enumerați sunt furnizați de fabricant (de regulă ultimii trei) sau este necesară determinarea lor conform unei proceduri ce va fi descrisă într-un capitol special. Desigur, nu sunt luate în calcul eventuale modificări făcute de fabricant ca și efectul, de multe ori critic, pe care-l au:

- rezistența de ieșire a amplificatorului;
- rezistențele serie din rețeaua de separare;
- cablurile de legătură dintre incintă și amplificator.

Pentru a determina mărimea incintei se vor utiliza tabelele 3.2.-3.11^a) și ecuațiile care permit determinarea lui a = raportul rezistențelor acustice și a lui f_c . Frecvența limită inferioară f_3 se va lua din tabelul 3.11.

Ecuațiile care determină parametrii incintei închise sunt:

$$a = \left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}} \right) - 1$$

$$f_c = \frac{Q_{tc} \cdot f_s}{Q_{ts}}$$

$$f_3 = \left[\frac{1}{Q_{tc}^2} - 2 + \sqrt{\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} - 2 \right)^2 + 4} \right] \times f_c$$

Apoi, utilizând tabelele citate, se calculează:

* Deoarece aceste tabele ar ocupa multe pagini de revistă, nu le putem publica, dar redacția le va oferi tuturor celor interesați care le vor solicita printr-o scrisoare adresată revistei TEHNIIUM.

$$\text{Volumul incintei } V_b = \frac{V_{as}}{a}$$

$$\text{Punctul } -3 \text{ dB } f_3 = \left(\frac{f_a}{f_c} \right) \times f_c$$

Frecvența de rezonanță a incintei

$$f_c = \left(\frac{f_c}{f_3} \right) \times f_s$$

Reamintim că:

- incintele „suspensie acustică” au coeficientul $a = 3 - 10$;

- $a < 3$ - incintă tip panou infinit;

- o frecvență f_c mai mică sau egală cu 50 Hz este o valoare rezonabilă pentru o incintă închisă de mici dimensiuni (sau cum sunt denumite în limba engleză bookshelf = de pus pe raft).

În practică, la o producție bine pusă la punct se obțin totuși variații mari ale parametrilor ca Q_{ts} , f_s sau V_{as} . Nu trebuie să vă alarmați sau să disperați: raportul f_s/Q_{ts} și produsul $V_{as} \times f_s$ sunt relativ constante ca valoare și ca atare rezultatele finale tind să fie constante.

Trei alți parametri sunt importanți pentru evaluarea performanțelor unei incinte închise: eficiența de referință (randamentul - no), puterea maximă pentru care difuzorul lucrează în domeniul linear fără distorsiuni apreciabile (Par) și puterea de intrare pentru care difuzorul produce Par , putere notată Per .

Randamentul de referință (no) este dependent de parametrii difuzorului și nu de cei ai incintei. Este exprimat sub formă de procent sau sub forma nivelului presiunii sonore (sound pressure level = SPL). Acest parametru este de ajutor în evaluarea eficienței difuzoarelor utilizate în incintele cu mai multe căi, pentru stabilirea necesarului de atenuare atunci când valorile eficienței difuzoarelor diferă.

Randamentul (eficiența) în aer liber poate fi determinat cu formula:

$$no = \frac{K(f_s^3 \cdot V_{as})}{Q_{ts}}$$

unde:

- $K = 9,64 \times 10^{-10}$ pentru V_{as} în litri

$9,64 \times 10^{-7}$ pentru V_{as} în metri cubi

$2,70 \times 10^{-8}$ pentru V_{as} în picioare cubice

Din această ecuație rezultă no sub formă de număr zecimal ce se transformă în:

$$\text{procent } \% = no \times 100$$

$$\text{SPL (1W/1m) dB} = 112 + 10 \log_{10} no$$

No poate varia de la 0,35% până la valori maxime de 1,5%.

Pentru comparație, no pentru o incintă închisă, fără material de amortizare în interior, poate fi calculat cu relația:

$$no_{fc} = \frac{K f_c^3 V_{as} V_b}{Q_{ec} (V_{as} + V_b)}$$

Puterea acustică de ieșire, limitată de deplasarea membranei, notată Par , este puterea acustică maximă produsă de difuzor operând linear în interiorul benzii sale de lucru, fără distorsiuni apreciabile. Domeniul în care difuzorul lucrează linear este X_{max} , dar, ținând seama de relativa insensibilitate a urechii la distorsiunile ce apar la frecvențe joase, se poate considera o extindere a domeniului de lucru la $X_{max} + 15\%$. Par poate fi calculat, în regim sinusoidal RMS, cu formula:

$$Par(cw) = K_p \cdot f_s^4 \cdot V_d^2$$

unde K_p este o constantă de putere care variază cu valorile lui Q_{tc} după cum urmează:

Q_{tc}	K_p
0,500	0,06
0,577	0,15
0,707	0,39
0,800	0,57
0,900	0,75
1,000	0,84
1,100	0,85
1,200	0,84
1,500	0,71

Volumul de aer dislocat de membrana difuzorului între limitele sale de deplasare, exprimat în metri cubi, este:

$$V_d = S_d \times X_{max}, \text{ unde:}$$

S_d este suprafața efectivă a membranei difuzorului care radiază și este calculată luând ca diametru al difuzorului diametrul efectiv al membranei plus 1/3 din rila de suspensie, la ambele capete de măsură.

Ca referință, pentru diametrele uzuale ale wooferelor, exprimate în țoli, se dau valorile lui S_d (în metri pătrați):

Diametru (")	S_d (m.p.)
5	0,0089
7	0,0158
8	0,0215
10	0,0330
12	0,0450
15	0,0855

Par(cw) ne face o idee privind relația dintre puterea acustică maximă și variația corespunzătoare a lui Qtc. Puterea maximă pe care incinta o poate prelua (maximum handling power) corespunde valorii $Q_{tc} = 1,1$ și descrește o dată cu descreșterea valorilor lui Qtc.

Valoarea frecvenței pentru care apare X max este situată sub valoarea lui f3 pentru valori ale lui Qtc mai mici de 1,1. Având în vedere că majoritatea materialului sonor reprodus se află peste valoarea lui f3, cel mai practic este să luăm valoarea maximă pentru Par, astfel că

$$\text{Par}(p) = 0,85 f_3^4 \times Vd^2$$

iar presiunea acustică maximă este

$$\text{SPL } 1 \text{ W } 1 \text{ m} = 112 + \log_{10} \text{Par}(p)$$

Puterea electrică maximă necesară pentru a produce Par este:

$\text{Per} = \text{Par}(cw)/n0$, unde: cele două puteri sunt exprimate în wați, iar randamentul n0 este exprimat zecimal. Per se va compara cu puterea maximă pe care o suportă difuzorul în limitele siguranței termice, limite stabilite de producător. În cazul în care limitele termice sunt strânse, se recomandă prudență, pentru a nu se distruge difuzorul.

Atunci când se calculează volumul total al incintei, acesta se va stabili mai mare având în vedere că trebuie să se compenseze o serie de elemente care reduc volumul calculat:

- spațiul ocupat de difuzoarele de medie și înalte;
- volumul ocupat de magnetul și șasiul wooferului;
- materialul de amortizare (care reprezintă circa 10% din volumul incintei);
- rețeaua de separare;
- materialele solide de amortizare (cusaci de rigidizare, bride, pâslă etc.).

Frecvența de tăiere minimă. Se consideră ca o axiomă că, pentru incinte închise, frecvența de tăiere minimă scade o dată cu creșterea volumului incintei. Acest fapt este valabil numai pentru valori ale lui Qtc mai mari sau egale cu 0,707. Pentru valori mai mici ale lui Qtc, creșterea volumului incintei produce o creștere a frecvenței de tăiere.

Modificări dinamice ale răspunsului în frecvență. Calculul parametrilor Par și Per poate crea o imagine asupra funcționării difuzorului și asupra excursiei maxime a echipajului mobil, dar nu dă informații asupra

schimbărilor care apar în regim dinamic, atunci când temperatura de funcționare crește o dată cu creșterea puterii aplicate la bornele difuzorului. În cazul aplicării metodelor de calcul Thiele-Small pentru dimensionarea unei incinte închise sau bassreflex, difuzorul va comporta răspunsul calculat numai în cazul aplicării unui semnal de intrare mic. Difuzorul se va comporta conform calculelor și tabelor la o putere de intrare de 1 W, dar, o dată cu creșterea puterii aplicate la borne și cu creșterea temperaturii bobinei, caracteristicile ansamblului difuzor - incintă se vor modifica.

Difuzoarele funcționează, în mod normal, într-un domeniu de temperaturi situate între temperatura camerei (circa 25 grade Celsius) și 250 grade Celsius, temperatura la care apar deja defecte datorate cedării adevizilor utilizați. Creșterea temperaturii bobinei produce o creștere a rezistenței și ca atare o scădere a amortizării totale a difuzorului. Atunci când se face proiectarea incintei fără utilizarea calculatorului și a unui program specializat, se va prefera considerarea unui coeficient Q mai mic, atunci când ceilalți parametri o permit. O serie de rezolvări industriale de succes au valori reduse ale lui Qtc, de până la 0,5, pentru semnale de intrare mici.

Folosirea materialului de amortizare. Cele prezentate până acum se referă la o incintă goală sau, cel mult, la o incintă care are montat pe pereți un strat de vată de sticlă de maximum 1" grosime, având ca scop amortizarea undelor staționare. Oricum, în realitate, din calcule oricât de laborioase și folosind cele mai evoluat programe de simulare și proiectare, nu se obțin chiar rezultatele dorite, din care motiv utilizarea materialelor de amortizare poate fi considerată o adevărată artă, care permite modificarea răspunsului incintei și obținerea unor parametri care nu pot fi obținuți pe altă cale. Totodată, pe lângă avantajul evident al suprimării reflexiilor interne, care pot produce colorații puternice ale sunetului, introducerea materialului fonoabsorbant are următoarele efecte asupra parametrilor incintei:

1. Creșterea rezistenței pneumatice

Utilizarea ca material fonoabsorbant a unui material cu

densitate mică și căldură specifică mare, cum sunt fibrele de sticlă, Dacron sau lână cu fir lung, poate produce o creștere a rezistenței pneumatice Cab, ceea ce este echivalent cu creșterea volumului incintei până la o valoare teoretică de 40%. În practică, creșterea volumului echivalent cu 15-25% este ușor de realizat.

2. Creșterea eficienței

Creșterea eficienței poate ajunge la o valoare de până la 15% dacă se face o selecție adecvată a materialului utilizat, a cantității utilizate și a locului în care este plasat în incintă.

3. Modificarea masei în mișcare a sistemului

Fenomenul este relaționat de restricția mișcării curentului de aer din imediata vecinătate a spatelui difuzorului. Fenomenul conduce la o scădere a eficienței, dar mărirea acestei scăderi este mai mică decât creșterea eficienței cauzată de același material fonoabsorbant. Cum orice scădere a eficienței nu este de dorit, sunt aplicabile două tehnici care pot limita acest fenomen:

- prima, utilizată în incintele Advent, constă în utilizarea unui cusac de rigidizare chiar în spatele difuzorului, depărtând materialul de amortizare de spatele difuzorului;

- a doua metodă constă în utilizarea unui coșuleț de material fonoabsorbant cu densitate mică montat în spatele difuzorului, ca un tampon între materialul cu densitate mai mare și difuzor.

4. Modificarea pierderilor prin amortizare

Utilizarea unui material fonoabsorbant relativ dens și așezat în spatele difuzorului conduce la creșterea pierderilor prin frecare. În literatura de specialitate sunt sugerate cantitățile și calitățile materialului utilizabil în scopul modificării rezistenței pneumatice din adiabatic în izotermic, dar fără date foarte precise, chiar pentru materialul cel mai comun: fibra de sticlă. Efectele utilizării fibrelor de sticlă ca material fonoabsorbant se pot determina cu programele de simulare pe calculator, dar rezultatele practice se pot determina numai prin audiere, când se pot face și corecturile. Tot literatura de specialitate arată că rezultatele finale pot varia foarte mult de datele obținute cu cele mai bune programe, iar audițiile nu pot fi înlocuite.

(Continuare în numărul viitor)

Proiectarea INCINTELOR ACUSTICE (V)

✦ Ing. Aurelian MATEESCU

(Urmare din numărul trecut)

Cu materialul prezentat în aceste pagini încheiem un prim ciclu de articole avându-l ca autor pe ing. Aurelian Mateescu, considerând că au fost abordate principalele aspecte privind incintele acustice.

În numerele viitoare vom prezenta și alte materiale, semnate de alți colaboratori, pe aceeași temă, de tot mai larg interes.

Așteptăm opiniile cititorilor privind utilitatea materialelor prezentate la rubrica AUDIO, precum și descrierea realizărilor practice pe care le-au obținut.

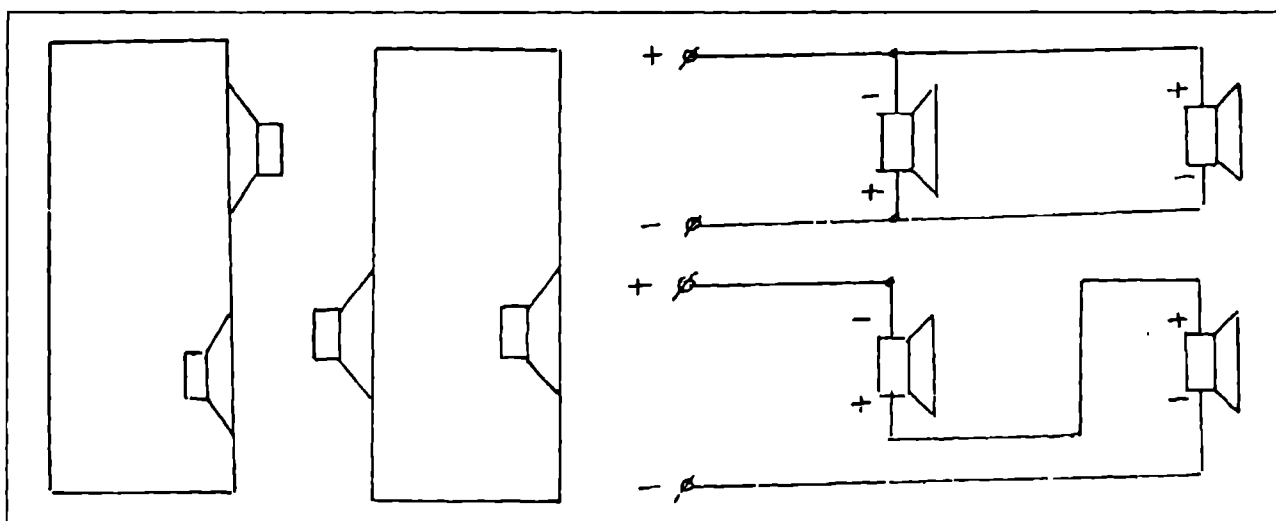
Incinte închise cu mai multe woofere

Utilizarea a două sau mai multe woofere în cadrul aceleiași incinte poate conferi o serie de avantaje. În mod curent se folosesc trei configurații de bază: standard, push-pull și compus (compound).

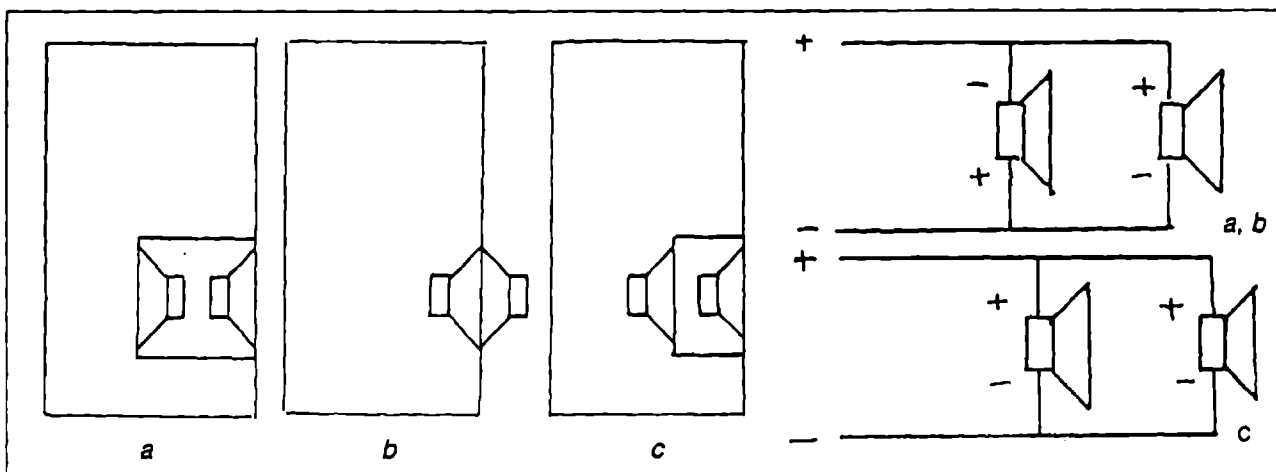
1. Configurația standard presupune utilizarea a două sau mai multe woofere identice, montate în aceeași incintă, cât mai aproape unul de celălalt. În cazul în care se utilizează două woofere, situația se prezintă după cum urmează:

- frecvența de rezonanță a ansamblului va fi aceeași ca a unui singur difuzor;
- Qts va avea aceeași valoare ca pentru un singur difuzor;
- Vas va avea valoare dublă față de cazul unui singur difuzor;
- impedanța ansamblului este înjumătățită în cazul legării în paralel și dublată în cazul legării în serie;

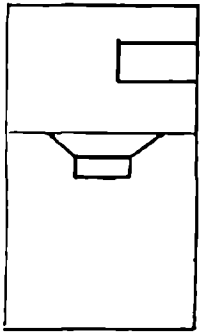
(Continuare în pag. 23)



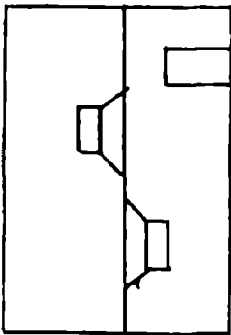
Configurația push-pull și modul de conectare în paralel și în serie



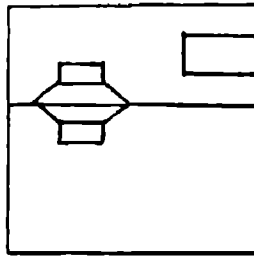
Configurația compusă (compound) și conectarea electrică a woofereleor



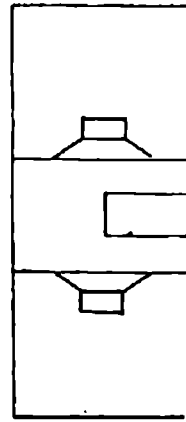
a



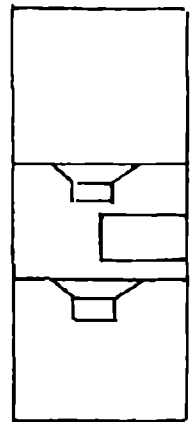
b



c



d



e

Încinte închise trece-bandă

(Urmare din pag. 20)

- sensibilitatea ansamblului crește cu + 3 dB pentru conectarea în paralel și scade cu - 3dB pentru conectarea în serie față de un singur difuzor;
- excursia membranelor va fi redusă la jumătate față de cazul unui singur difuzor.

Utilizarea a patru woofere în configurație serie-paralel aduce o creștere a eficienței cu + 6 dB.

2. Configurația push-pull

Această configurație apare atunci când două woofere sunt montate în aceeași incintă spate în spate sau față în față, conform figurii 3, iar din punct de vedere electric sunt conectate în antifază. Avantajul acestei

configurații este dat de anularea distorsiunilor nelineare de ordin impar. Cele menționate la configurația standard sunt valabile și în cazul configurației în push-pull. Totodată acest tip de configurație se poate utiliza nu numai în incinte închise, ci și în cele bassreflex sau cu radiator pasiv.

3. Configurația compusă (compound) nu este de dată recentă, fiind descrisă în anul '50 de Olson. Sistemul acesta mai este denumit și izobaric (presiune constantă) și are câteva avantaje majore față de alte configurații de două difuzoare:

- Qts este același ca în cazul unui singur difuzor;
- frecvența de rezonanță fs este

aceeași cu a unui singur difuzor;

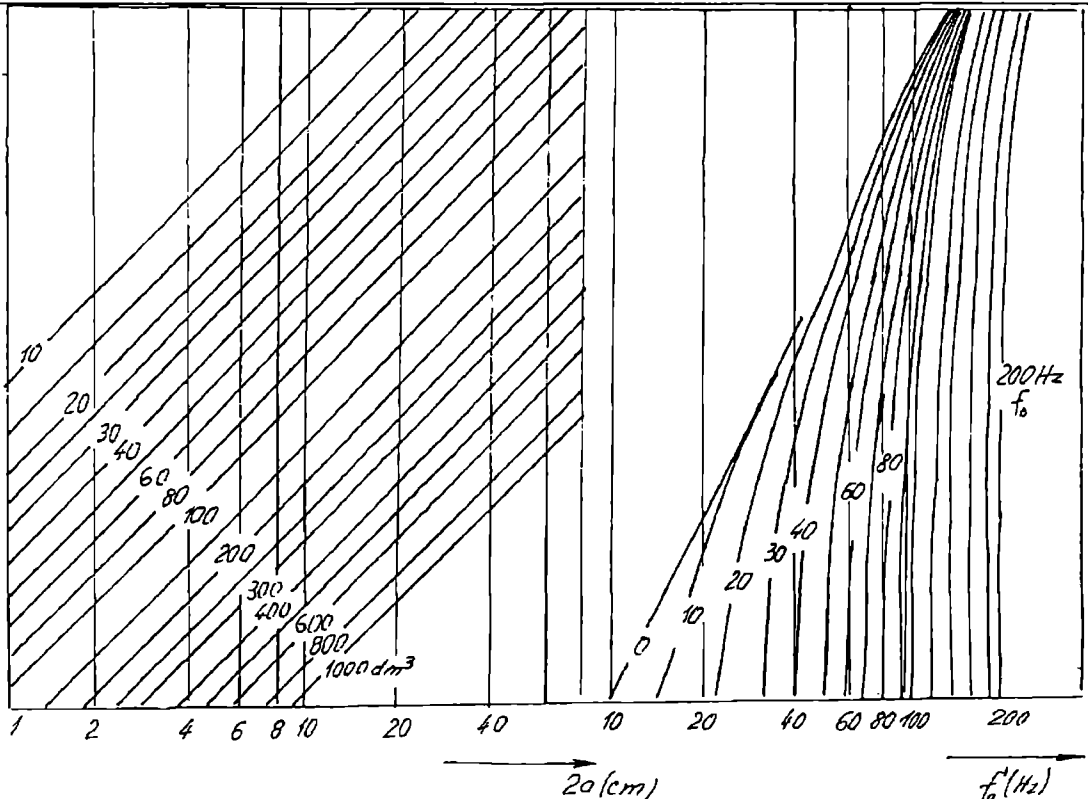
- Vas și volumul asociat al incintei, Vb, vor fi jumătate din valoarea respectivă a unui singur difuzor;

- la conectarea în paralel, Impedanța este jumătate din impedanța unui difuzor;

- sensibilitatea perechii compuse este aceeași cu a unui singur difuzor (crește cu 4 dB datorită impedanței de 4 ohmi, dar scade cu 3 dB din cauza dublării masei membranei).

Avantajul major al acestei configurații este oferit de reducerea la jumătate a volumului incintei, astfel că devine ideal pentru construcția de subwoofere.

(Continuare în pag. 25)



Nomograma Lorenz

interiorul acesteia. Datele constructive ale bobinelor sunt prezentate în tabel. Cu ajutorul comutatorului K, montat pe cutia convertorului, se comută antena baston fie pe convertor, fie direct pe aparat.

Montajul se realizează pe un circuit imprimat montat într-o cutie din tablă cositorită sau zincată de 0,5 mm grosime, așa cum se arată în figura 2. Convertorul se fixează pe caseta aparatului astfel ca butonul de acord să fie accesibil. Racordul cu receptorul se face cu conductoare flexibile.

Convertorul a fost experimentat pe un receptor de tip „Selena” și dă deplină satisfacție. Pentru receptoare care au minusul la masă, schema necesită unele modificări. Pentru reglare și punere la punct se folosesc un generator FIF, un frecvențmetru și un voltmetru electronic. Cum cei mai mulți amatori nu posedă aceste aparate, reglarea se face pe posturile locale.

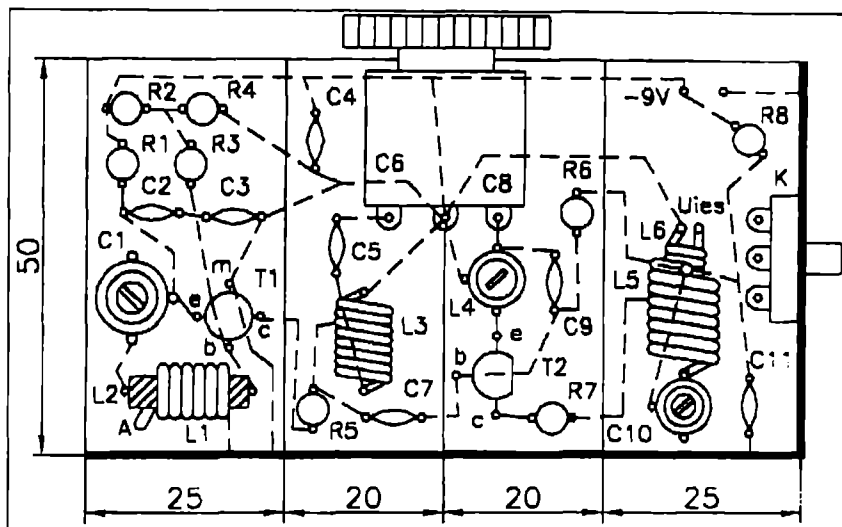


Fig. 2

Bobine convertor (UUS) CCIR-OIRT

Bobina	CuEm Ø (mm)	Ø Dorn (mm)	Nr. spire	Inductanța (μH)	D (diametrul carcasei - mm)	Observații
L1	1,0	5,0	6,0	0,13	-	Spiră lângă spiră, fără carcasă
L2	0,45	2,0	10,0	0,093	-	Spiră lângă spiră, fără carcasă
L3	1,0	5,0	9,0	0,22	-	Spiră lângă spiră, fără carcasă, priză la spira 4,5
L4	0,26	-	16,0	1,45	6,0	Carcasă cu miez magnetic, priză la spira 4
L5	1,0	8,0	9,0	0,437	-	Spiră lângă spiră, fără carcasă, priză la spira 4,5
L6	1,0	5,0	3,0	0,054	-	Spiră lângă spiră, fără carcasă

Proiectarea incintelor acustice

(Urmare din pag. 23)

Se vor avea în vedere următoarele detalii constructive:

- incinta se calculează ca o incintă închisă, utilizând valoarea Q_{ts} a unui woofer și Vas/2;

- tunelul în care se montează difuzoarele poate fi pătrat sau cilindric, din lemn sau carton tare, în multe straturi lipite între ele;

- pe peretele tunelului se pune un strat subțire de material fonoabsorbant, în rest tunelul este gol;

- atenție ca membrana difuzorului să nu atingă magnetul difuzorului din fața sa;

- tunelul se va etanșa cu multă grijă.

Incinte închise cu filtru trece-banda

Acest tip de incintă este o incintă închisă care are montat un filtru acustic serie în fața difuzorului, reprezentat de o incintă acordată cu un rezonator Helmholtz. Nici acest tip de incintă nu este nou, datând din 1934 (André d'Alton), dezvoltat ulterior de mai mulți cercetători, realizările lui Ahmad Bose fiind destul de cunoscute (sistemul Acoustimass constând din doi sateliți și un subwoofer).

Există mai multe variante constructive

ale acestui tip de incintă:

- varianta cu un singur difuzor;
- două difuzoare în push-pull;
- push-pull compound;
- varianta cu triplă cameră;
- triplă cameră în configurație push-pull.

Configurația b utilizează volumul necesar ambelor difuzoare. Camera centrală a variantelor cu triplă cameră este egală în volum cu suma volumelor celor două difuzoare. În configurațiile b, c și d, difuzoarele sunt defazate indiferent dacă sunt legate în serie sau în paralel.

Incinte închise aperiodice. Acestea reprezintă o variantă a incintelor închise care folosesc un dispozitiv numit Variovent, produs în special de Scan Speak și Dynaudio. Dispozitivul se montează într-o deschidere cu diametrul de 100 mm și conține un sandwich din fibre de sticlă cu grosimea de 1 tol (2,54 mm) care se opune trecerii aerului. Comportarea sa este asemănătoare cu umplerea incintei 100% cu material fonoabsorbant de mare densitate, ambele tehnici având ca rezultat aparent creșterea volumului incintei. Utilizarea Varioventului este simplă: pe spatele incintei se taie o gaură în care se montează dispozitivul: unul pentru incinte cu volum de până la 50 de litri, două pentru volume de până la 80 de litri și trei pentru volume de peste 80 de litri.

Nomograma Lorenz. Deși poate

părea o metodă depășită sau anacronică, diversele diagrame întocmite de specialiștii firmelor constructoare au valoarea lor, putând oferi informații utile într-un timp foarte scurt. Spre exemplificare, prezentăm diagrama (nomograma) elaborată cu câteva zeci de ani în urmă de specialiștii firmei Lorenz, la care se au în vedere difuzoare cu diametrul activ cuprins între 45 mm și 300 mm, notat pe prima parte a abscisei cu 2a (cm). Deasupra abscisei se află dreptele corespunzătoare volumului incintei închise, exprimat în dm³ (sau litri). Cea de-a doua parte a abscisei este ocupată de frecvența de rezonanță a ansamblului difuzor + incintă închisă, notată fo' (Hz), iar deasupra se află curbele ce reprezintă frecvența de rezonanță fo a difuzorului în cauză. Dacă avem diametrul difuzorului, frecvența sa de rezonanță fo și ne propunem un volum al incintei, se ridică o verticală corespunzătoare diametrului până la intersecția cu dreapta corespunzătoare volumului propus. Linia orizontală din punctul de intersecție va întâlni curba corespunzătoare frecvenței de rezonanță a difuzorului. Verticala în acel punct va întâlni abscisa în punctul ce va reprezenta frecvența de rezonanță a ansamblului. Se poate proceda și invers. Deși pare imprecisă, nomograma oferă rapid informații utile fără calcule laborioase și cu o precizie satisfăcătoare pentru calcule preliminare.

INCINTĂ ACUSTICĂ V.T.P. (I)

⇒ Ing. Emil MARIAN

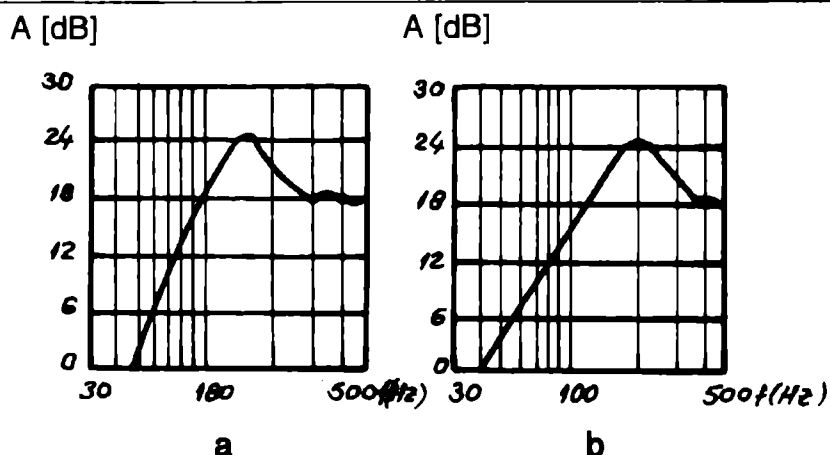
În componența oricărui complex electroacustic performant, cea mai dificilă problemă funcțională o reprezintă dotarea cu incinte acustice care să reproducă fidel sunetele de frecvență joasă și foarte joasă, în mod clar și nedeformat. Ele trebuie să se afle într-o corelație strictă cu informația sonoră transmisă de semnalul electric furnizat de amplificatorul de audiofrecvență de putere. Proiectanții de incinte acustice au căutat în permanență soluții practice de rezolvare a problemei. Incintele acustice s-au perfecționat în timp prin creșterea performanțelor electroacustice ale difuzoarelor și modernizarea continuă a lor.

Proiectanții au pornit de la fenomenele fizice care privesc redarea sunetelor de frecvență joasă și foarte joasă. Un prim considerent major a fost faptul că, în momentul funcționării traductorului electroacustic - difuzorul -, undele acustice sonore de frecvențe joase produse în fața și în spatele membranei difuzorului woofer (de „joase”) se anulează. Datorită acestui fenomen, zonele directe de lucru „din fața” membranei difuzorului și „din spatele” ei trebuie separate acustic.

Pornind de la acest fenomen fizic, s-au realizat în timp o serie de incinte acustice, grupate în cinci tipuri constructive. Primul tip a fost incinta acustică închisă, la care volumul de aer din interior era net separat de exteriorul acesteia. Practic, s-a constatat însă că această soluție tehnică duce la creșterea frecvenței de rezonanță proprie difuzorului „de joase” - wooferul. Pentru ca acest tip de incintă acustică să fie performant, el trebuie să conțină un woofer cu frecvența de rezonanță foarte coborâtă, difuzor de construcție specială și mai ales scump ca preț. Diferența dintre frecvența de rezonanță a unui woofer „deschis” și cea a unui montat în incintă acustică închisă este prezentată în figura 1. Se observă „un salt” de cca 50-60 Hz, diferență ușor sesizabilă acustic în zona frecvențelor joase.

O altă soluție tehnică a reprezentat-o realizarea incintei acustice bassreflex. Funcționarea ei se bazează pe combinația acustică dintre radiația frontală de presiune acustică a membranei difuzorului woofer și o parte din radiația spatelui membranei, inversată ca fază cu cca 180°, reglementată în zona frecvenței de rezonanță de un tub acustic special dimensionat - rezonatorul Helmholtz. El optimizează și combină cele două unde acustice generate de woofer (din fața și din spatele membranei) având randamentul maxim tocmai în zona frecvenței de rezonanță a wooferului. Efectul practic este micșorarea amplitudinii frecvenței de rezonanță a wooferului - vezi figura 2 -, fapt ce îmbunătățește substanțial performanțele incintei acustice de acest tip.

Dar inconvenientul major al incintei bassreflex îl constituie răspunsul electroacustic „slab” în ceea ce privește semnalele electrice tranzitorii de frecvență joasă,



care de cele mai multe ori constituie parte integrantă majoră din programul muzical sonor.

O perfecționare a incintei bass-reflex o constituie al treilea tip de incintă acustică, și anume convertizorul acustic. Perfecționat în timp de firma SIARE, el reprezintă de fapt o serie de „camere acustice” suplimentate de rezonatoare Helmholtz, în scopul optimizării liniarității caracteristicii de transfer electric-acustic în zona frecvențelor joase și foarte joase. Un convertizor acustic cu pavilion pre-

realizabil de către constructorul amator. Se menționează că secțiunea traseului acustic crește după o lege de evoluție exponențială, de la difuzor până la „exterior” - mediul ambiant.

Presiunea acustică instantanee, mare ca amplitudine, generată de woofer, se diminuează pe traseu, la ieșirea „spre exterior” a tubului acustic. Rezultatul practic al acestui tip de incintă acustică îl reprezintă micșorarea apreciabilă a frecvenței de rezonanță a

„vibrația” aerului cu difuzorul este direct proporțională cu lungimea tubului acustic. Această frecvență este de cele mai multe ori „forțată” de un rezonator Helmholtz. Ea se determină conform relației:

$$f_R = V_s / (l \times 4), \text{ unde:}$$

f_R = frecvența de rezonanță a incintei acustice;

V_s = viteza de propagare a sunetului în aer (340 m/s);

l = lungimea tubului rezonator (m);

Exemplu - la un tub rezonator de $l = 2$ m,

$$f_R = 340 / (2 \times 4) = 42,5 \text{ Hz.}$$

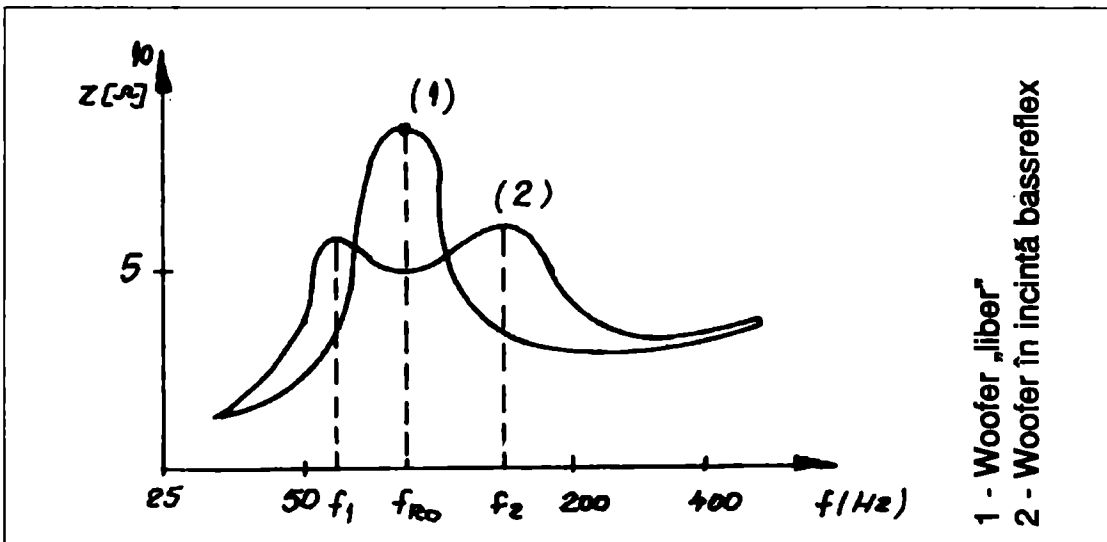


Fig. 2

supune însă o dimensionare fizică strictă, asistată de calculator. După calcule laborioase, s-a constatat însă că nu toate modelele experimentate dau rezultatele scontate. Se menționează că, pentru optimizarea ansamblului difuzor woofer-incintă, sunt necesare multe corecții ulterioare. Dar rezultatele simple sunt deosebit de bune. Cele mai cunoscute convertizoare de tip pavilion acustic au fost realizate de firmele WEBSTER, KLIPSCH, WILSON și LOWTHER. Dar să nu uităm că, la acest tip de incinte acustice, „traseul acustic” este de tip „pavilion exponențial”, deosebit de greu

wooferului, deci un răspuns practic liniar amplitudine-frecvență în zona frecvențelor joase și foarte joase.

O altă perfecționare a incintei bassreflex este construcția incintei acustice TRANSMISSION-LINE. Incinta TL prezintă un gabarit mic și, totodată, rezultate funcționale deosebit de bune. Printre primele constructoare de acest tip excelează firmele ROGERS MONITOR și SOTA (State of the Art). În forma cea mai simplă, TL-ul nu reprezintă decât un tub acustic, care, la una dintre extremități, este închis. Frecvența la care se obține

Din relațiile anterioare rezultă un fapt deosebit de important: redarea nedistorsionată a sunetelor de frecvență joasă și foarte joasă implică prezența fizică a unui tub acustic de lungime mare. La modelele vechi de incinte acustice de tip TL, tubul rezonator avea cca 2,5-3 m! O asemenea soluție tehnică nu este însă compatibilă cu o cameră obișnuită de locuit (20-25 m² cu înălțimea de max. 2,7 m). Un alt inconvenient deosebit de important la acest tip de incintă acustică îl reprezintă posibilitatea apariției unor multipli proprii frecvenței de rezonanță.

Ex.: fundamentala $f = 40$ Hz

armonice $f_R = 80, 120, 160, 200, 240$ Hz!

Ele se traduc prin deformări fonice ale programului muzical sonor. Un remediu (care însă nu elimină efectul complet) îl constituie dotarea tubului acustic cu material fonoabsorbant. Scade viteza sunetului, deci scade și lungimea incintei acustice, dar „armonicile”, deși mici, tot există!

(Continuare în numărul viitor)

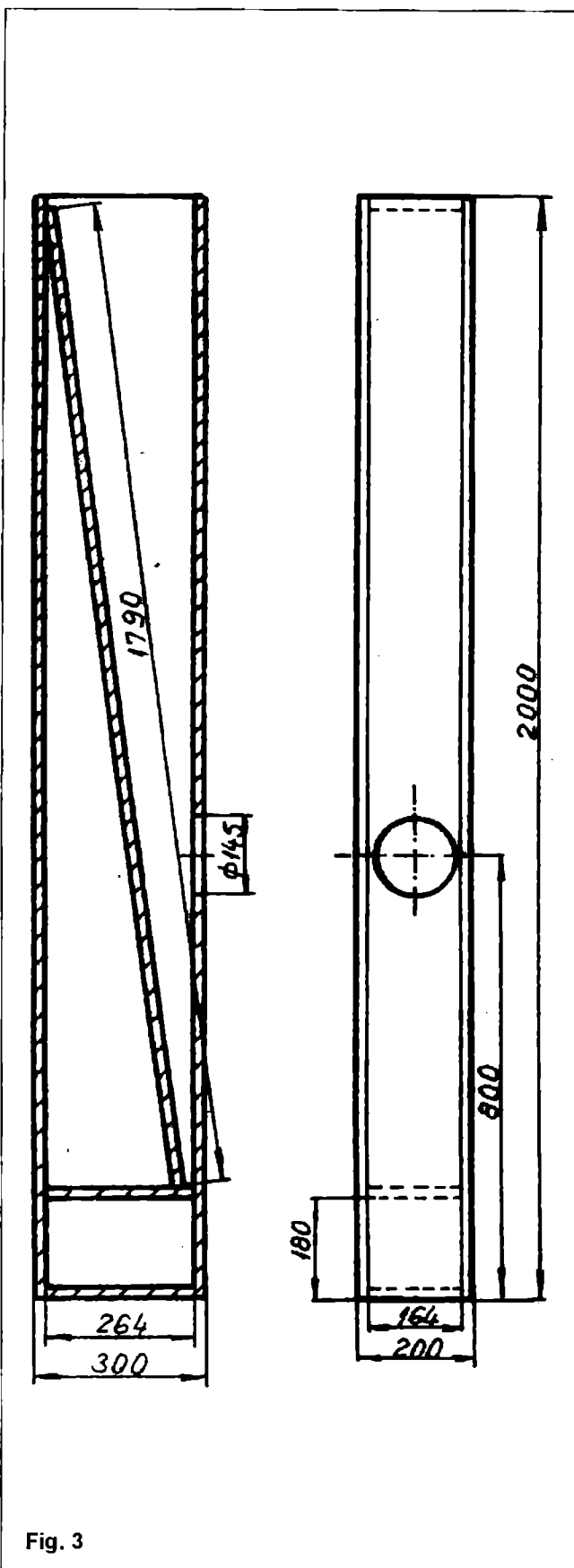
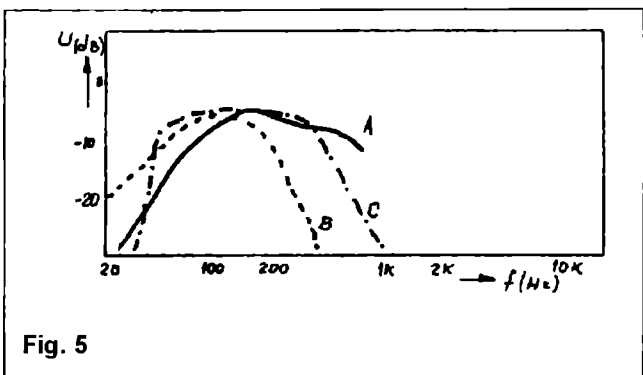
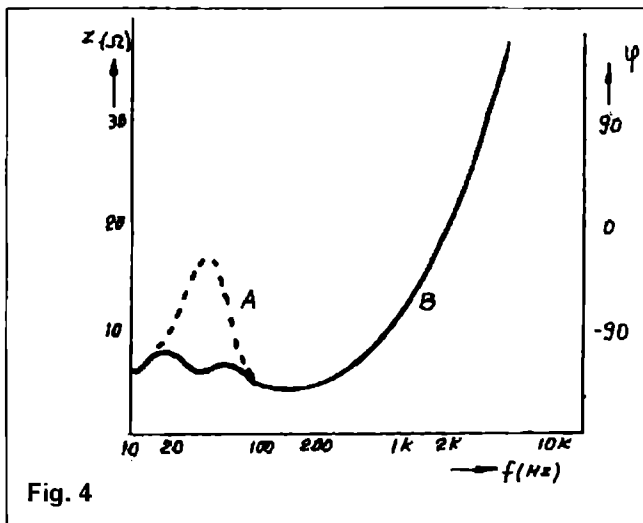
INCINTĂ ACUSTICĂ VTP (II)

♦ Ing. Emil MARIAN

(Urmare din numărul trecut)

Un alt model practic, cu foarte bune rezultate, îl reprezintă incinta acustică „de joase” de tip PIED-PIPER, realizat de firma TSN din Haarlem. La acest gen de construcție, fluidul acustic – aerul – generează o presiune acustică mult mai redusă în interiorul ei.

Datorită acestui fapt, unde staționare, nefaste acustic, sunt mult mai reduse. Nu mai apare problema „căptușirii” interiorului incintei cu material fonoabsorbant. Wooferul nu „suferă” în acest caz decât de „amortizarea” răspunsului electroacustic în zona frecvenței de rezonanță. Acest tip de soluție tehnică presupune un „acord” deosebit de bun între incintă și amplificatorul audio AAF în zona frecvențelor joase și foarte joase.





variantă a incintei acustice PIED-PIPER care a dat rezultate practice deosebit de bune este modelul VTP (Voigt Tapered Pipe). Realizat și perfecționat recent în Anglia de către acusticianul Paul Voigt, acest model de incintă acustică îmbină avantajele construcțiilor „pavilion acustic” și TL, constituind în final un montaj electroacustic HI FI de suprainaltă specializare. Funcționarea VTP se bazează pe faptul că, în timpul conversiei electroacustice a sunetelor de frecvență joasă și foarte joasă, tubul acustic, care are un profil conic, primește fluidul acustic generat de woofer la o distanță bine determinată (pe calculator). Ea este egală totdeauna cu o treime din lungimea totală a tubului acustic. Similar ca la incinta TL, rezonanța tubului acustic depinde de lungimea lui și lucrează ca un convertizor acustic. Cea mai mică mișcare a membranei wooferului se transmite instantaneu în partea îngustă a tubului acustic printr-o creștere a presiunii acustice. În zona de deschidere maximă a tubului acustic, unde are loc contactul cu aerul din mediul ambiant, presiunea acustică scade și unda acustică generată de spatele membranei wooferului se propagă în exterior, combinându-se instantaneu cu unda frontală. Datorită întârzierii „mecanice” de fază a undei acustice din spatele membranei woofer, ea devine practic congruentă cu unda acustică frontală (evident, numai pentru zona frecvențelor joase). Efectul imediat este mărirea substanțială (cu cca 45-65%) a randamentului incintei acustice de frecvențe joase și foarte joase. Calculele acustice efectuate pe ordinatoarele au demonstrat justetea aplicației practice, și anume a ansamblului VTP-woofer, prezentat în figura 3. Alături de mărirea substanțială a transferului de putere electroacustică, construcția practică a VTP-ului nu permite formarea undelor acustice staționare, atât de dăunătoare celorlalte tipuri de incinte acustice. Absența amortizării „mecanice” a vibrațiilor audio ale aerului implică însă folosirea unui AAF cu factor de amortizare ridicat. O altă soluție practică este dotarea „conului” VTP cu material fonoabsorbant (burete, vată de sticlă, lână etc.)

În figura 4 se arată modul de comportare al VTP comparativ cu alte incinte acustice. Diagrama A prezintă comportarea unui woofer într-o incintă acustică de tip „închis” de 14 dm³. Diagrama B arată comportarea aceluiași woofer în incinta acustică de tip VTP. Modul de variație a impedanței wooferului este

TEHNIUM septembrie-octombrie 2000

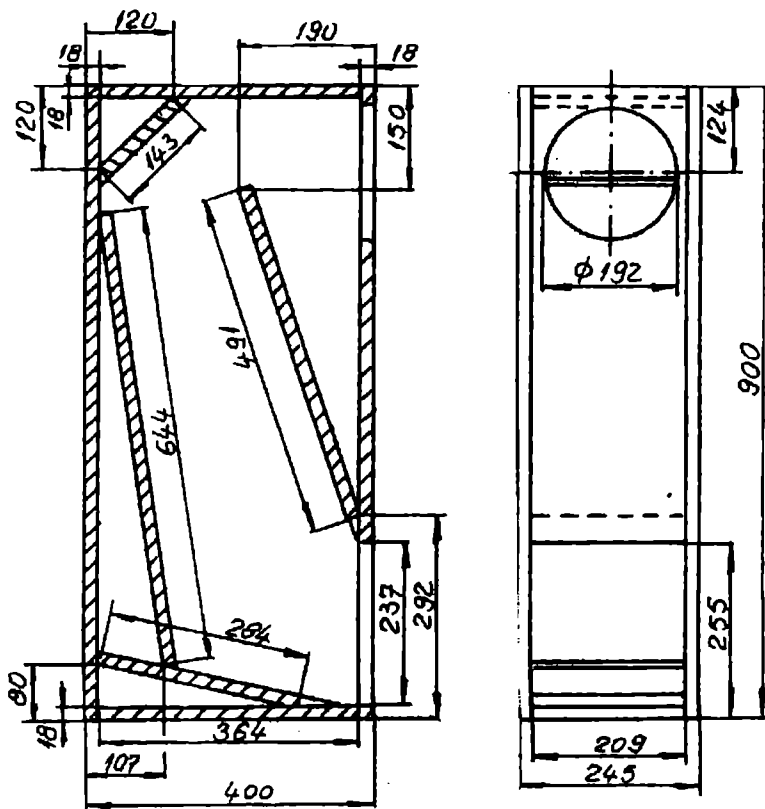


Fig. 6

net superior în cazul VTP.

Randamentul privind presiunea acustică a incintei acustice VTP se poate vedea imediat analizând diagramele din figura 5. Diagrama A reprezintă variația presiunii acustice la nivelul („W”). Se observă că, sub frecvența de 150 Hz, presiunea acustică scade cu o pantă de 6 dB/octavă. Diagrama B evidențiază presiunea acustică la „ieșirea” tubului acustic al incintei VTP. Diagrama C pune în evidență presiunea acustică totală a incintei acustice VTP. Se observă că „scăderea” cu cca 3 dB apare sub nivelul frecvenței de 30 Hz, un rezultat excelent pentru un „W” de diametru mic (cca 20 cm = membrana wooferului W).

Concluzii imediate:

- rezonanța wooferului este perfect amortizată (diferențe de max. 2 dB);
 - banda audio, la care se transmite puterea audio utilă, a crescut substanțial, frecvența minimă scăzând de la 150 Hz spre 30 Hz);
 - THD minim (fapt extrem de util);
 - lipsa „oscilațiilor” wooferului în regim tranzitoriu – rezonanțele parazite sunt minime, max. 18 ms, inesizabile sonor sau vizual!
- O incintă acustică „clasică” VTP implică o lungime relativ mare a tubului rezonator (cca 1.8-2.5 m).

Deoarece această construcție, de altfel foarte bună și eficientă, nu „cadrează” cu o cameră obișnuită de locuit, s-a proiectat, realizat și încercat, cu rezultate excelente, o variantă constructivă ce nu prezintă un gabarit mare (900 x 245 x 400 mm). Se utilizează practic un woofer cu diametrul de cca 200 mm. Dimensiunile constructive ale acestui tip de incintă VTP sunt prezentate în figura 6. Precizez că toate îmbinările panourilor se realizează folosindu-se holzsuruburi și aracet. Pentru consolidarea și etanșarea tubului acustic conic recomand folosirea prenadeseului.

Se menționează că incintele acustice pentru semnalele audio de frecvență medie-înaltă se realizează separat (dimensiunile lor nu sunt critice). Recomand un bloc compact cu rețele separatoare, amplasat în incintele-satelit de medii-înalte, de la care pornesc conductoarele pentru „joase” și „foarte joase”. Menționez că acest tip de incintă „de joase” VTP a fost realizat practic, rezultatele fiind... superexcelente!

BIBLIOGRAFIE:

- LE HAUT PARLEUR - nr. 1781;
- Revista TEHNIIUM Internațional '70 - colecția 1992-1998;
- ELECTRONIQUE PRACTIQUE - nr. 230



INCINTĂ ACUSTICĂ 20W

Ing. AURELIAN MATEESCU

Caracteristici. Incinta acustică prezentată este de tipul incintă închisă cu două căi, are puterea nominală de 20 W și este echipată cu trei difuzoare: două pentru reproducerea frecvențelor joase (tip ARN 567 — „Tesla”, R.S.C.) și unul pentru frecvențe înalte (tip L 5954 — RFT, R.D.G.).

Principalele caracteristici ale incintei sînt:

— puterea electrică nominală (VA)	20
— puterea muzicală (VA)	30
— banda de frecvență reproducă (Hz)	35-20 000
— volumul închis (dmc)	35
— dimensiunile exterioare (mm)	285x245x700

Construcție. Incinta este prezentată în figurile 1—5, pe care sînt indicate toate detaliile constructive. Materialul pentru execuția cutiei este placajul cu grosimea minimă de 15 mm. Dacă se folosește material mai gros, se vor respecta dimensiunile panoului frontal. Panoul frontal (fig. 4) va avea grosimea de 12 mm, ca și panoul suplimentar (fig. 5). Materialul folosit pentru aceste două

panouri este placajul din lemn de tei folosit la planșetele școlare. Se va prefera următoarea ordine de lucru:

a. Construcția cutiei, conform figurilor 2 și 3. Se va finisa cu atenție suprafața de așezare a panoului frontal pentru a se asigura planeitatea și etanșarea perfectă a incintei. Îmbinările se fac cu holșuruburi și aracet gros de tîmplărie. Se verifică astuparea și etanșarea oricăror orificii.

b. Se taie și se ajustează panoul frontal pentru așezarea corectă pe rama de etanșare.

c. Se taie panoul suplimentar conform figurii 5, se trasează, se decupează și se găurește conform desenului.

d. Panoul suplimentar se verifică după desen și va fi folosit ca model pentru decupările și găurile de prindere de pe panoul frontal (fig. 4, cu linia punctată). Pe panoul frontal se trasează și decupează pentru difuzor pentru reproducerea frecvențelor înalte și centrele găurilor de fixare Ø 6,2. Panoul suplimentar micșorează difuzorul pentru frecvență înaltă. Soluția este adoptată de mai multe firme („Sony”, „Siare”, „Cabbasse”).

După executarea decupărilor și a găurilor în cele două panouri, se finisează prin șlefuire și vopsire (lăcuire) în aceeași culoare sau în culori diferite. Personal, panoul suplimentar l-am vopsit cu lac Titan negru, iar panoul frontal l-am bălăuit și

lăcuit cu nitrolac. Cutia se finisează după dorință.

e. Panoul suplimentar (fig. 5) se assemblează cu panoul frontal (fig. 4) prin lipire cu aracet și strîngere cu 6 șuruburi M4x30 cu cap INBUS. Se va curăța cu atenție orice surplus de aracet. După uscarea (24 de ore) se trece la montarea difuzoarelor cu ajutorul șuruburilor M4 x 30 (cap INBUS). Etanșarea difuzoarelor pe panoul frontal se va face cu mastic sau garnitură de caucuc subțire sau spumă poliuretanică (burete). De spatele panoului frontal, lângă difuzorul pentru frecvențe înalte, se va lipi cu aracet o placă de panou sau lemn, cu dimensiunile de 150 x 100 x 10 mm pe care se va

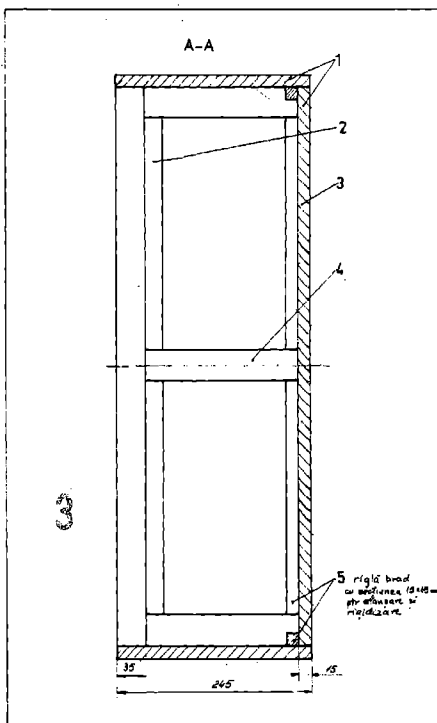
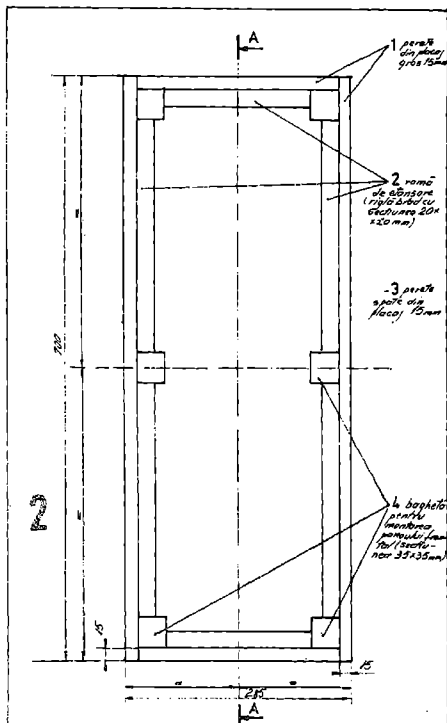
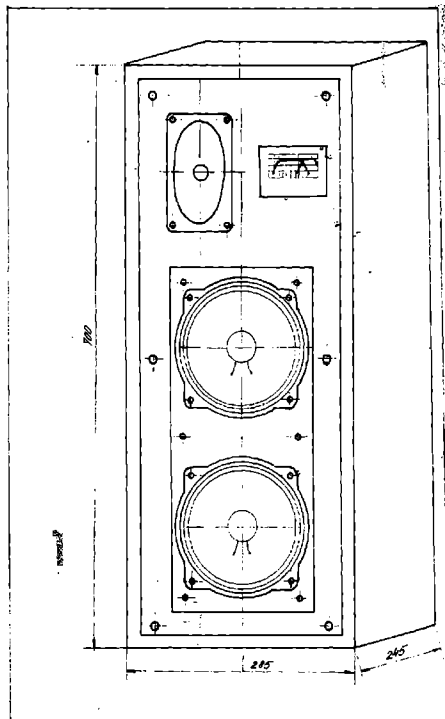
monta cu 4 holșuruburi filtrul de separare. Se vor executa conexiunile electrice, conform figurii 6, urmînd fazarea corectă a difuzoarelor. Cablul de conexiune la amplificator va fi trecut printr-o gaură practică în peretele din spate al cutiei. Rostul va fi astupat cu mastic.

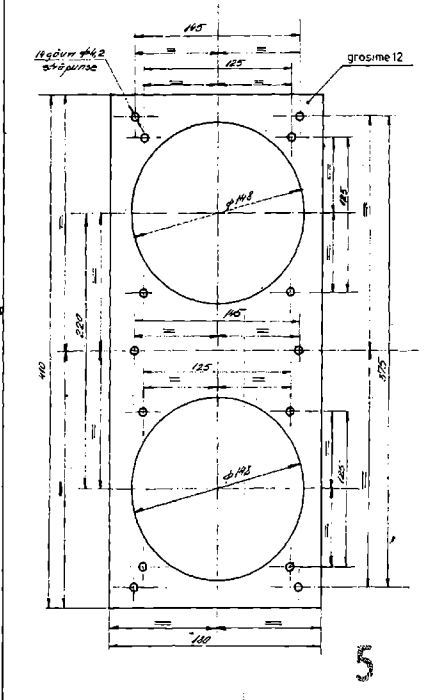
Filtrul de separare are frecvența de tăiere de 7 kHz și asigură o separare de cca 12 dB/octavă. Schema electrică a filtrului este prezentată în figura 6. Bobinele se vor executa pe carcasa din PVC (de la tuburile de medicamente la care se montează capace din plastic) cu conductoare din cupru emailat cu diametrul de 1 mm (fig. 7). Elementele filtrului se vor monta pe o plăcuță din cablaj imprimat executată conform figurii 8. Se vor respecta fazarea difuzoarelor și conectarea mufei de intrare conform schemei electrice prezentate.

Montajul și exploatarea. Montarea panoului frontal în cutie se face cu șuruburi cu cap INBUS M6 x 70. Piulițele șuruburilor se montează captive în baghetele de la colțurile și mijlocul cutiei. Pe rama de etanșare se lipesc cu prenză o garnitură din caucuc spongios de 2—3 mm. Cutia se umple cu spumă poliuretanică (burete) fără a se tasa. Se preferă ca buretele să fie introdus într-un saculeț de pînză pentru a se proteja sistemul mobil al difuzoarelor pentru frecvență joasă.

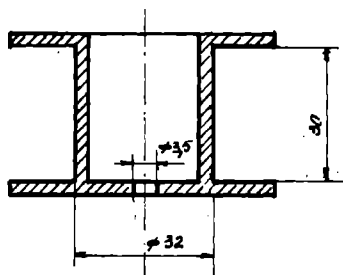
După montarea și strîngerea puternică a panoului frontal se va verifica etanșarea incintei prin apăsarea în lungul axului a membranei unuia din difuzoarele pentru frecvențe joase. Membrana celuilalt difuzor trebuie să urmărească fidel mișcarea primei membrane, dar în sens contrar. Menținînd membrana apăsată, cealaltă membrană trebuie să revină foarte greu în poziția de repaus (cca 30 s). Buna etanșare este condiția esențială pentru rezultate bune în exploatare și pentru o viață îndelungată a difuzoarelor pentru frecvențe joase, altfel acestea se vor deteriora prematur printr-o mișcare prea amplă a membranei.

Incinta se va amplasa de preferință pe un perete, la o înălțime convenabilă auditei. Panoul frontal și membranele difuzoarelor se pot proteja cu o ramă de lemn pe care se întinde o pînză rară (etanșină).





Recent a apărut în Editura tehnică **Agenda electronistului** de ing. N. Drăgulănescu. Extrem de utilă constructorilor amatori, care nu sînt de loc răsfațați cu cataloagele întreprinderilor producătoare de elemente electronice, volumul cuprinde capitole în care sînt prezentate monografic materiale și componente, aparate de măsură și probleme de radio și televiziune. Prin selectarea, sinteza și actualizarea informațiilor dintr-un domeniu exemplificat cu-prinzător cu produse fabricate în țară, **Agenda electronistului** devine un volum indispensabil bibliotecii fiecăruia constructor amator pe care redacția îl recomandă cu căldură și în același timp îl felicită pe autor pentru această valoroasă lucrare. (C.S.)



STABILIZATOARE DE TENSIUNE

(URMARE DIN PAG. 3)

$$P_i = V_o I_o + 2I_o = I_o (V_o + 2) \quad (11)$$
$$E = \frac{P_o}{P_i} = \frac{I_o V_o}{I_o \cdot (V_o + 2)} = \frac{V_o}{V_o + 2} \quad (12)$$

Din figura 4 rezultă că la mijlocul lui

unde T se exprimă în secunde, L_2 în henry, V_i și ΔV în volți.



introducere în proiectarea INCINTELOR ACUSTICE

Ing. AURELIAN MATEESCU

Obținerea unor rezultate optime în funcționarea incintelor acustice are la bază cunoașterea legilor fizicii și în special ale acusticii, care guvernează producerea și propagarea sunetelor. O cunoaștere, chiar dacă nu aprofundată, a unor elemente ale acestor legi va ajuta constructorul amator în obținerea rezultatelor dorite în construcțiile pe care le abordează în acest domeniu, iar pe iubitorul de muzică redată cu înaltă fidelitate să-și aleagă corect incinta acustică de care are nevoie în funcție de amplificatorul de putere de care dispune. Aprecierea calităților unei incinte poate fi astfel mai judicioasă realizată, pe criterii mult mai sigure decât opiniile unor „cunoscători” dotați cu o „solidă cultură HI-FI” provenită din lectura prospectelor de reclamă ale diferitelor firme producătoare de echipament audio.

În cele mai multe cazuri, considerentele de proiectare a unei incinte acustice implică relațiile existente între următorii factori:

- mărimea incintei;
- eficiența incintei;
- limita inferioară de frecvență reproducută;
- tipul de incintă ales (închisă, deschisă etc.).

Elementele fizice implicate în aceste relații sînt incinta propriu-zisă și difuzorul pentru reproducerea frecvențelor joase, care împreună determină 75% din costul incintei acustice. Cei patru factori specificați mai sus sînt corelați matematic, astfel că, dispunînd sau fixînd valori pentru trei dintre aceștia, al patrulea poate fi determinat. Pentru cele mai multe incinte acustice, eficiența este direct proporțională cu mărimea, tipul incintei și cubul răspunsului în frecvență și este reprezentată de un număr ce arată procentajul din puterea electrică livrată de amplificator, care se transformă în putere acustică, percepută de urechea umană. Procentajul care exprimă eficiența este cuprins între limitele 0,1%—10%. Se observă randamentul extrem de scăzut al transformării puterii electrice în putere acustică, peste 90% din energia electrică livrată de amplificator transformîndu-se în căldură disipată de bobina difuzorului în mediul ambiant.

Mărimea incintei este dată de volumul interior al acesteia.

Frecvența joasă care intră în calcul este frecvența pentru care răspunsul coboară la jumătate (—3 dB) față de frecvența considerată.

Tipul incintei poate fi notat cu un număr care va reprezenta construcția acesteia.

Ecuatia care leagă acest sistem de factori și stabilește o relație matematică între ei o vom nota prescurtat EIS (ecuația de interdependență a elementelor sistemului) și este următoarea:

$$n = 10^9 \cdot f_3 \cdot V \cdot k,$$

unde n = randamentul (eficiența) transmisiei, considerînd radiația într-un semispafiu, ca de exemplu în apropierea unui perete, f_3 = frecvența la care răspunsul coboară la jumătate față de frecvența superioară (—3 dB), V = volumul interior al incintei (în l), k = coeficient care desemnează tipul incintei (închisă, deschisă, bassreflex etc.). Valoarea coeficientului k variază într-o arie largă, cuprinsă între 0,25 și 20, din care cauză are o deosebită importanță pentru performanțele incintei, pentru alura curbei de răspuns în apropierea punctului din care începe coborîrea curbei de frecvențe joase.

Efectul modificării variabilelor din ecuația de mai sus poate fi mai ușor înțeles prin exemplificare. Astfel, coborînd frecvența f_3 cu o octavă, menținînd neschimbate valoarea randamentului și coeficientul k , volumul V al incintei crește foarte mult (de cca 8 ori). Această creștere a volumului nu implică numai modificarea construcției incintei, ci și a difuzorului pentru reproducerea frecvențelor joase, ce nu poate rămîne același pentru o incintă cu un volum sporit considerabil.

În figura 1 sînt prezentate curbele de răspuns pentru trei incinte la care se păstrează același volum și aceeași frecvență de cădere cu —3 dB, de 40 Hz. Incintele sînt sisteme Butterworth închise de ordinul doi (curba B_2), de ordinul patru (curba B_4) și de ordinul șase (curba B_6). Aceste sisteme au coeficientul k de 1,4; 3,7 și respectiv 9, ceea ce conduce la valori diferite ale randamentului pentru condițiile alese.

În figura 2 se prezintă modificarea răspunsului în frecvență dacă sistemele sînt reproiectate pentru același randament și același volum interior ($f_{1,3} \neq f_{2,3} \neq f_{3,3}$).

Din cele prezentate mai sus se constată că nu se pot face alegeri întâmplătoare ale parametrilor atunci cînd se dorește un anumit rezultat. De exemplu, un volum mic și o eficiență ridicată exclud obținerea unui răspuns în frecvență foarte jos. Să exemplificăm utilizînd ecuația prezentată.

O incintă închisă cu volumul interior de 3,3 l, proiectată pentru un randament de 0,5% (o valoare moderată), destinată să lucreze lîngă un perete, va avea o coborîre a curbei de răspuns în jurul valorii de 100 Hz dacă este bine proiectată, altfel coborîrea curbei de răspuns va începe de la o frecvență mai mare. Proiectarea pentru o coborîre a curbei de răspuns începînd cu o octavă mai jos (punctul de —3 dB deplasat de la 100 Hz la 50 Hz) impune modificări substanțiale. De exemplu, mărimea cu o octavă a curbei de răspuns la frecvențe joase la o incintă cu dimensiunile de gabarit impuse înseamnă reducerea de 8 ori a ran-

damentului, ceea ce conduce la utilizarea unei puteri de 8 ori mai mari din amplificator (dacă acesta o are). Dacă se dorește menținerea aceluiași randament, aceasta implică o incintă cu un volum de opt ori mai mare, cu toate consecințele ce decurg din aceasta.

Tipurile de incinte acustice sînt divizate în mod obișnuit în:

- incinte închise;
- incinte deschise;
- labirinturi acustice.

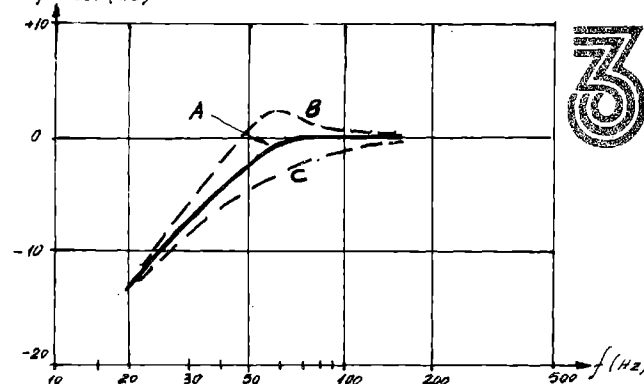
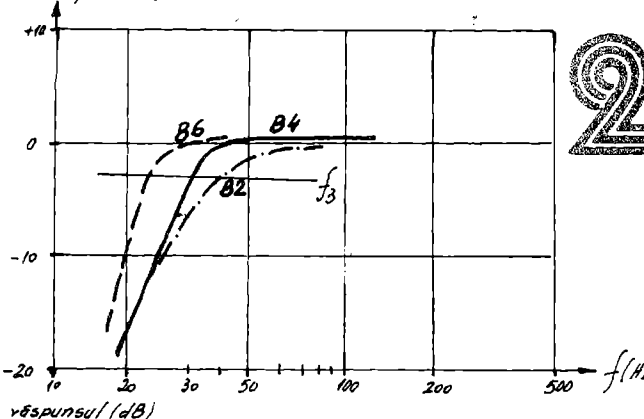
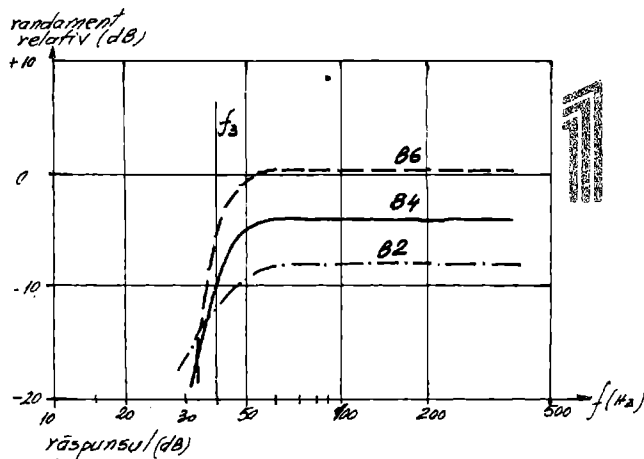
În cadrul acestor împărțiri sînt cuprinse un număr foarte mare de soluții constructive, fiecare prezentînd calități și defecte specifice. În cadrul fiecărei diviziuni (tip de incintă) se întîlnesc foarte multe variante constructive pentru care se obțin curbe de răspuns specifice (curbă plată, cu pantă accentuată sau prezentînd o accentuare mai pronunțată), conform figurii 3. Curbă plată (A) a răspunsului în frecvență mai este numită și curbă de răspuns Butterworth de ordinul doi, denumire provenind de la filtrul electric de frecvență purtînd același nume. Variînd parametrii ecuației EIS, am văzut că se pot obține performanțele impuse. O incintă acustică deschisă, de exemplu o incintă bassreflex bine proiectată, poate asigura un răspuns bun în frecvență cu un randament de două pînă la trei ori mai bun decît o incintă închisă avînd aceleași

dimensiuni de gabarit și același răspuns în frecvențe joase. Incinte acustice de tip deschis care au integrate circuite de corecție a curbei de răspuns pot asigura o creștere a randamentului de 5—6 ori fără a sacrificia răspunsul incintei la frecvențe joase.

În cele prezentate pînă la acest punct nu se menționează mărimea difuzorului pentru reproducerea frecvențelor joase, deoarece aceasta nu intervine în relația EIS. Mărimea difuzorului pentru reproducerea frecvențelor joase, ca și unele elemente constructive ale acestuia intervin în stabilirea următoarelor elemente ale incintei:

- nivelul acustic furnizat de incintă;
- tipul incintei (închisă, deschisă etc.);
- limita inferioară a curbei de răspuns;
- excursia maximă a membranei difuzorului, pentru ca în corelație cu ceilalți parametri, impuși sau ce se caută a fi obținuți, să nu se pericliteze „viața” difuzorului prin deplasări ale membranei peste limitele constructive.

Atunci cînd procedează la proiectarea și construirea unei incinte acustice, constructorul amator este bine să cunoască un minimum de date despre difuzoarele pe care le va utiliza pentru a fi scutit de rezul-



Colella STEREO REVIEW — 1981
Ray Newman, "A systematic approach to loudspeaker design"
Electro-Voice Inc., august, 1981