

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2020 00327

(22) Data de depozit: 11/06/2020

(30) Prioritate:
12/06/2019 US 62/860, 703

(41) Data publicării cererii:
30/12/2020 BOPI nr. 12/2020

(71) Solicitant:
• MILEA ADRIAN,
BD.MIRCEA CEL BĂTRÂN, NR.10, BL.H6,
SC.I, AP.51, TÂRGOVIȘTE, DB, RO

(72) Inventatori:
• MILEA ADRIAN,
BD.MIRCEA CEL BĂTRÂN, NR.10, BL.H6,
SC.I, AP.51, TÂRGOVIȘTE, DB, RO

(54) INCINTĂ ACUSTICĂ DE MARE PUTERE CU EXTENSIE
ÎN FRECVENȚE ULTRA - JOASE, PRIN INTERMEDIUL
PROCESĂRII DIGITALE A SEMNALULUI

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o incintă acustică de mare putere cu extensie în frecvențe ultra-joase, prin intermediul procesării digitale a semnalului. Incinta acustică (1), conform invenției, având cel puțin un difuzor și cel puțin o cameră de rezonanță cu o frecvență joasă de rezonanță la care excursia membranei (2) difuzorului este minimă, precum o incintă acustică de tip bass-reflex, este reprojectată pentru o frecvență ultra-joasă de rezonanță (4, 5), apărând fenomenul de supra-excursie a membranei (2) deasupra frecvenței de rezonanță, fenomen controlat prin intermediul unui procesor digital (90), în care sunt implementate unul sau mai multe filtre parametrice (83), cu rol și în liniarizarea răspunsului incintei deasupra frecvenței de rezonanță, însă tot prin intermediul procesorului digital de semnal (90) este implementată și funcția de generare de frecvențe subarmonice (86), bazată pe înjumătățirea frecvenței fundamentale, asigurând astfel, în mod continuu, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei de semnal (84), funcționarea incintei acustice (1) în regiunea apropiată frecvenței de rezonanță, cu excursie redusă a membranei difuzorului, punând astfel în valoare scăderea frecvenței de rezonanță (4, 5) și obținând un sunet de nivel calitativ superior.

Revendicări: 5
Figuri: 7

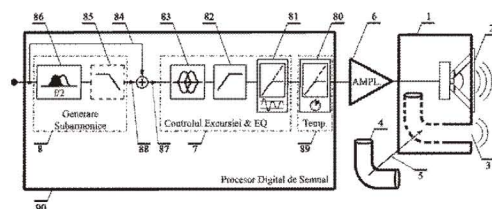


Fig. 7



INCINTĂ ACUSTICĂ DE MARE PUTERE CU EXTINSIE ÎN FRECVENȚE ULTRA-JOASE, PRIN INTERMEDIUL PROCESĂRII DIGITALE A SEMNALULUI

Invenția se încadrează în domeniul electroacusticii, referindu-se, în principal, la incintele acustice de tip bass-reflex, ale căror limitări clasice de proiectare, ce afectează reproducerea frecvențelor foarte joase, sunt depășite printr-o nouă abordare, a cărei implementare presupune și procesarea digitală a semnalului, rezultatul final constând în reproducerea unor frecvențe mult mai joase decât ar fi posibil în mod normal. Prin incintă acustică de tip bass-reflex înțelegem, conform FIG. 7, acea incintă având o cameră de rezonanță la joasă frecvență (1), caracterizată prin existența unuia sau mai multor porturi (3) și funcționând conform principiului rezonatorului Helmholtz. Pe suprafața incintei acustice se găsește montat cel puțin un transductor sau difuzor (2), a cărui membrană operează ca un piston, din perspectiva frecvențelor joase, producând variații de presiune în incinta acustică (1), iar în funcție de complianța aerului din incintă și de inerția creată de porturi apare o frecvență de rezonanță specifică, la care contribuția incintei acustice la nivelul total de ieșire atinge maximul, vibrația aerului din porturi (3) fiind în fază cu cea a membranei (2) și aflându-se la cea mai mare amplitudine, iar excursia membranei difuzorului fiind minimă la această frecvență. Incintele acustice bass-reflex care pot beneficia, teoretic, de această invenție sunt atât cele de bandă-largă, cât și cele specializate în reproducerea frecvențelor joase, denumite subwoofer, de aceea, vom utiliza termenul generic de incintă acustică bass-reflex pe parcursul expunerii. Invenția este, de asemenea, aplicabilă și în cazul altor tipuri de incinte acustice având una sau mai multe frecvențe de rezonanță, precum incintele de tip radiator pasiv sau cele de tip trece-bandă, însă incintele acustice bass-reflex sunt cele mai răspândite, din multiple considerente, fapt pentru care vom orienta expunerea către acestea.

Analiza stadiului tehnicii în acest domeniu relevă existența, chiar și la ora actuală, a aceluiași convenții de proiectare a incintelor bass-reflex, instituite în urmă cu mai multe decenii, acestea reprezentând, în continuare, clasicul compromis între puterea maximă suportată și extensia răspunsului în frecvențe joase, cea de-a doua fiind sacrificată aproape întotdeauna în favoarea maximizării puterii suportate și a obținerii unor niveluri de presiune sonoră ridicate. Frecvența de tăiere a răspunsului în frecvențe joase a acestor proiecte clasice,

la care atenuarea este deja de 10 dB, este situată destul de sus, chiar și la 40 Hz, ceea ce nu poate reprezenta nicidecum o reproducere fidelă, de calitate, a sunetului.

În mod ideal, o incintă bass-reflex de mare putere ar trebui să reproducă liniar frecvențe de până la 20Hz și să suporte puterea maximă posibilă, limitată doar de caracteristicile termice ale bobinei difuzorului. În realitate, din păcate, o altă limitare intervine, reprezentată de excursia întregului ansamblu membrană-bobină, denumită, în continuare, excursia membranei, definită prin parametrul X_{max} al difuzorului. Acesta reprezintă excursia maximă liniară a bobinei sau membranei, pornind din poziția de repaus, în oricare sens, înainte ca numărul de spire ale bobinei, aflate în întrefier, să înceapă să scadă și poate fi exprimat prin relația (1.0), pentru a clarifica situațiile în care, din considerente comerciale, în fișele de catalog ale difuzoarelor moderne sunt publicate valori cu 40 % mai mari decât cele reale:

$$X_{max} = \frac{\text{Înălțimea_bobinei} - \text{Înălțimea_piesei_polare}}{2} \quad (1.0)$$

În FIG. 1 este simbolizată variația excursiei membranei unui difuzor, în funcție de frecvență, într-o incintă bass-reflex, și putem observa un prim impact al parametrului X_{max} (15) asupra funcționării incintelor bass-reflex, în condiții de mare putere. La frecvența de rezonanță a incintei, excursia membranei prezintă un minimum (11), la fel și impedența bobinei, așadar la această frecvență nu există un risc de ordin mecanic, ci, mai degrabă, unul termic, puterea disipată fiind maximă, iar răcirea deficitară, dar ceea ce ne interesează în acest moment este aspectul mecanic al problemei, așadar în jurul frecvenței de rezonanță nu întâmpinăm limitări din acest punct de vedere. Continuând analiza, prin aplicarea unui semnal a cărui frecvență este mai mare decât aceea de rezonanță a incintei (11), putem atinge un maximum al excursiei membranei (14), însă orice incintă proiectată conform normelor uzuale va asigura încadrarea acestei valori în limita cursei maxime liniare (15), așadar regimurile de funcționare (11) și (14) nu reprezintă un motiv de îngrijorare. Dacă, în schimb, aplicăm un semnal a cărui frecvență este inferioară celei de rezonanță (11), observăm, de această dată, o creștere exponențială a excursiei membranei, în regiunile (12) și (13), pe măsură ce frecvența aplicată scade. Într-o primă etapă, pragul (15) va fi depășit, distorsiunea va apărea gradual, putând deveni chiar supărătoare, însă, mult mai important, dacă frecvența aplicată scade și mai mult, vor fi depășite limitele mecanice ale difuzorului (16), parametru denumit X_{lim} , provocând deteriorări ireversibile bobinei, care se va lovi de piesa polară, sau

suspensiei. Aceasta se datorează scăderii impedanței acustice a incintei și reprezintă un real risc de funcționare la putere mare a difuzorului în incinta respectivă, fapt pentru care este obligatorie utilizarea unui filtru trece-sus, astfel încât să putem controla excursia membranei și la frecvențe mai mici decât cea de rezonanță a incintei, rezultatul unui astfel de filtru, din punct de vedere al excursiei membranei, fiind ilustrat în FIG. 2, regiunea de frecvențe (21). Tipul de filtru, frecvența de tăiere și ordinul acestuia, respectiv panta de atenuare, depind de parametrii fiecărei incinte, însă uzuale sunt filtrele de tip Butterworth sau Linkwitz-Riley de ordinul 4, pentru o atenuare de 24 dB/octavă, sau chiar de ordinul 8, corespunzător atenuării de 48 dB/octavă, așadar foarte abrupte, pentru a controla eficient excursia membranei sub frecvența de rezonanță, dar, în același timp, pentru a afecta cât mai puțin, prin atenuare, banda utilă redată de către incinta acustică. Din acest considerent, filtrele Butterworth sunt de preferat, oferind, pentru același ordin, o pantă mai abruptă decât a celor de tip Linkwitz-Riley, datorită atenuării la frecvența de tăiere, care la primul tip este de 3 dB, iar la cel de-al doilea de 6 dB, acesta din urmă fiind, de fapt, compus din două filtre Butterworth active, conectate în cascadă. Consecința utilizării unui filtru trece-sus constă, din păcate, în efectul evident de înrăutățire a răspunsului în frecvență al incintei pe intervalul de frecvență pe care acesta introduce atenuare, caracteristica de răspuns în frecvență a oricărei incinte bass-reflex fiind deja deficitară sub frecvența de rezonanță. Acesta este motivul pentru care limita inferioară a frecvențelor redade de către incintele bass-reflex este guvernată de frecvența acestora de rezonanță, așadar, teoretic, o astfel de incintă ar trebui acordată la o frecvență cât mai joasă cu putință, chiar și la 20 Hz, însă, după cum vom observa în cele ce urmează, o nouă provocare intervine, introducând noi limitări.

FIG. 3 ilustrează cinci exemple ale aceleiași incinte acustice bass-reflex, singura diferență constând în frecvența de rezonanță, care este scăzută progresiv de la (50) la (30). Filtrele trece-sus adecvate sunt implementate, în vederea asigurării, teoretic, a condițiilor necesare pentru funcționarea conformă în aplicații de mare putere, însă un mare dezavantaj intervine, de această dată: excursia membranei crește progresiv deasupra frecvențelor de rezonanță, după cum putem observa în (50e), (45e), (40e), (35e), respectiv (30e), pe măsură ce frecvența de rezonanță scade, așadar acest proces, denumit și "down-tuning", oferă avantajul aparent al obținerii unei incinte bass-reflex capabile să reproducă foarte bine frecvențe mai joase, însă noul fenomen de supra-excursie a membranei, apărut cel mai pronunțat în cazul (30e), deasupra frecvenței de rezonanță, transformă rezultatul doar în clasicul compromis amintit la început, al alegerii între presiunea sonoră și extensia în frecvențe joase. Abordarea convențională oferă o singură perspectivă de ieșire din această

situație, înlocuirea difuzorului incintei acustice cu un model de ultra-performanță, având un X_{max} foarte mare, care să permită atât o frecvență de rezonanță foarte joasă, cât și o putere de intrare mare, ceea ce nu presupune absolut nimic inovativ, ci doar costisitor.

Singura soluție ce a putut fi identificată drept cea mai apropiată de invenția revendicată în acest brevet este reprezentată de US 2014/0341394 A1, similaritatea constând în preocuparea în a găsi, fără a încălca în vreun fel legile fizicii, maniera prin care frecvența de rezonanță a unei incinte acustice bass-reflex să poată fi scăzută precum în cazul (30), suplinind deficiența din regiunea (30e) prin diverse tehnici de procesare a semnalului și extinzând, astfel, gama de frecvențe joase reproduse de incintă. Ambele soluții, respectiv invenția revendicată în acest brevet și US 2014/0341394 A1, vor presupune atenuări ale regiunilor de frecvențe la care apare fenomenul de supra-excursie a membranei, impuse de limitele electroacustice normale ale incintelor, respectiv deasupra frecvenței de rezonanță (30e) și dedesubtul acesteia, (12) și (13), așadar nimic neconvențional până în acest punct. Diferența fundamentală constă, însă, în faptul că US 2014/0341394 A1 face apel la psiho-acustică, având ca scop principal crearea percepției reproducerii frecvențelor din sursa de semnal audio, nu neapărat reproducerea fidelă a acestora, și realizează acest lucru prin trei tehnici fundamentale de procesare a semnalului, aplicate asupra frecvențelor din sursa de semnal care se situează în regiunile de supra-excursie a membranei, respectiv deasupra sau dedesubtul frecvenței de rezonanță:

- prima constă în aplicarea de atenuări dinamice, în funcție de nivelul semnalului de intrare, asupra frecvențelor problematice menționate, generatoare de supra-excursie, iar nivelul atenuării este compensat printr-o creștere proporțională a nivelului semnalelor generate în cadrul următoarelor două tehnici;

- a doua tehnică o însoțește pe prima și constă în generarea de frecvențe armonice (multiplicarea frecvenței fundamentale, atenuată prin intermediul primei tehnici) într-o regiune mult mai înaltă de frecvențe, în care excursia membranei este foarte scăzută, astfel încât să creeze impresia reproducerii frecvenței fundamentale prin efectul psiho-acustic de percepție a unei a treia frecvențe virtuale, egală cu diferența dintre două frecvențe reproduse în realitate, fundamentala atenuată și cel puțin o armonică, diferența fiind egală, de fapt, tot cu fundamentala; această tehnică include creșterea amplificării atât a armonicelor generate, cât și a zonei din jurul frecvenței de rezonanță, amplificare aplicată în relație inversă cu atenuarea din prima tehnică, pentru menținerea unui nivel constant de ieșire;

- cea de-a treia tehnică, prezentată drept o posibilă extensie a invenției din brevetul respectiv, adăugată primelor două tehnici, se referă la faptul că toate frecvențele din sursa de

semnal care s-ar situa în regiunile de supra-excursie, deasupra sau dedesubtul frecvenței de rezonanță, sunt transpuse forțat (de cele mai multe ori, într-o manieră nearmonică) în zona frecvenței de rezonanță, printr-un Transpositional Gain Controller, pentru a crea senzația de impact fizic, iar percepția tonului frecvenței inițiale, înainte de a fi transpusă, este indusă prin cea de-a doua tehnică menționată anterior, de generare a frecvențelor armonice, astfel încât să creeze impresia reproducerii tonalității frecvenței fundamentale inițiale.

În contrast cu US 2014/0341394 A1, invenția revendicată în acest brevet se bazează pe reproducerea într-o manieră liniară pe toată plaja de niveluri de intrare a frecvențelor joase, fără a aplica vreo corecție dinamică asupra anumitor benzi de frecvență, și nu are ca fundament utilizarea generării de armonice (multiplicarea frecvenței fundamentale). Caracteristica ei principală constă într-o funcționalitate care favorizează reproducerea frecvențelor ultra-joase, punând, astfel, în valoare scăderea frecvenței de rezonanță, însă acest aspect va fi detaliat în următoarele secțiuni.

Problema tehnică identificată în cadrul acestei invenții comportă trei aspecte, iar, pentru o mai bună fundamentare, vom face apel direct la caracteristicile reale ale unei majorități covârșitoare a produselor actuale, referindu-ne în special la domeniul audio profesional, dar fără a ne limita la acesta. Ca o precizare suplimentară, pentru a acoperi tot spectrul produselor prezente pe piață, există și o aparentă excepție de la problema tehnică pe care o analizăm, reprezentată de produsele extrem de performante, ale căror prețuri sunt, desigur, proporționale, dar acelea nu presupun decât componente care prezintă caracteristici excepționale, precum o cursă maximă liniară a membranei difuzorului enormă, chiar și de 20 mm (valoarea uzuală fiind de 7 mm), scopul acestei invenții constând în găsirea unei soluții inovative și accesibile, nu în creșterea performanței printr-o clasică mărire a costurilor de producție. Așadar:

1. Majoritatea incintelor bass-reflex sunt acordate prea sus, în jurul frecvenței de 45 Hz, ceea ce presupune automat sacrificarea reproducerii frecvențelor ultra-joase, mai mici de 40 Hz, în special a celor din jurul valorii de 30 Hz, iar, pentru un sunet cu adevărat calitativ, o incintă bass-reflex trebuie să aibă capacitatea de a reproduce liniar aceste frecvențe ultra-joase, fără atenuări ale caracteristicii de răspuns.

2. În cazul în care alegem o frecvență de rezonanță mai joasă, precum 30 Hz, astfel încât să asigurăm redarea frecvențelor ultra-joase, apare a doua problemă, a supra-excursiei membranei difuzorului deasupra frecvenței de rezonanță, ca în FIG. 3, exemplul (30e),

supra-excursie care, pentru o frecvență de rezonanță de 30 Hz este situată, în realitate, în jurul unei frecvențe centrale de aproximativ 50 Hz, respectiv în intervalul 40 - 70 Hz, ceea ce duce la diminuarea puterii maxime suportate de către incinta acustică și la scăderea nivelului presiunii sonore generate.

3. Cel de-al treilea aspect constă în faptul că majoritatea materialelor muzicale conțin frecvențe joase predominant în intervalul de frecvențe 40 - 70 Hz, așadar exact în regiunea în care a apărut fenomenul de supra-excursie prezentat la punctul anterior, după scăderea frecvenței de rezonanță ca în FIG. 3, exemplul (30e). Acest aspect important transformă o astfel de incintă acustică într-un evident compromis, în care banda de frecvențe predominantă, cuprinsă în intervalul 40 - 70 Hz, este redată într-o manieră ineficientă, prin excursii semnificative ale membranei difuzorului, similar unei incinte acustice în compresie, contribuția incinte acustice bass-reflex la nivelul total de ieșire, prin intermediul porturilor, nemanifestându-se decât în jurul frecvenței de rezonanță, în special între valoarea acesteia și un interval de aproximativ 5 Hz deasupra ei. În concluzie, ne aflăm în situația în care am scăzut frecvența de rezonanță a incinte acustice pentru a fi capabilă să redea și frecvențe ultra-joase, însă nu mai putem beneficia de fenomenul de rezonanță al incinte tocmai în regiunea în care se găsesc majoritatea frecvențelor joase din materialele audio uzuale, așadar modificarea este aproape inutilă. Aceste frecvențe ultra-joase, chiar și de 25 Hz, nu sunt prezente, în general, decât în producțiile muzicale moderne, dar nici în această categorie nu sunt neapărat predominante, fapt pentru care o astfel de incintă acustică acordată mai jos decât ar permite excursia maximă liniară a difuzorului, apărând fenomenul de supra-excursie deasupra frecvenței de rezonanță, (30e), reprezintă o soluție incompletă și un exemplu clasic al limitărilor întâlnite în proiectarea incintelor acustice bass-reflex și nu numai.

Obiectivul principal al acestei invenții a constat în descoperirea unei modalități prin care să fie pusă în valoare, în mod continuu, noua capacitate a incinte acustice de a reproduce frecvențe ultra-joase, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei de semnal audio, contra-balansând, astfel, dezavantajul scăderii eficienței incinte în intervalul situat deasupra frecvenței de rezonanță (30e). Redarea frecvențelor ultra-joase, de la aproximativ 25 Hz până la 40Hz, este specifică sistemelor de sonorizare de mari dimensiuni, utilizate în concerte, și are un cu totul alt impact asupra audienței, unul pozitiv, desigur, de aceea, s-au depus eforturi în vederea găsirii unei soluții în acest sens, astfel încât sunetul de concert să devină accesibil și la scară redusă, utilizând incinte acustice obișnuite, incapabile, în mod tradițional, de o asemenea performanță.

Data fiind prezentarea realizată până în acest punct, cu privire la situația inițială, putem proceda, în cele ce urmează, la expunerea invenției. Aceasta se bazează, în primul rând, pe existența, înaintea amplificatorului de putere, a unui Procesor Digital de Semnal, pe care îl vom denumi în continuare DSP, acronimul termenului englezesc Digital Signal Processor, iar în implementarea întregului concept putem distinge trei etape:

- prima etapă constă în acordarea incintei acustice la o frecvență de rezonanță foarte joasă, care să-i permită acesteia să redea, în condiții de mare putere și fără filtre de atenuare aplicate, frecvențe cuprinse între aproximativ 40 Hz și 25 Hz, cu o toleranță de câțiva Hz la ambele capete ale intervalului, fără a apărea fenomenul de supra-excursie a membranei în acest interval;

- cea de-a doua etapă constă în implementarea în DSP a filtrării necesare, în vederea menținerii sub control a excursiei membranei în zonele problematice, deasupra și dedesubtul frecvenței de rezonanță, și în liniarizarea curbei de răspuns a incintei acustice, dacă este cazul;

- cea de-a treia etapă reprezintă elementul-cheie al invenției, constând în implementarea funcției speciale, tot în DSP, care să pună în valoare frecvențele ultra-joase pe care acum incinta acustică este capabilă să le redea, obținând, astfel, un rezultat de excepție.

Acordarea incintei acustice la o frecvență de rezonanță foarte joasă, conform invenției, este necesară pentru a-i permite acesteia să redea, în condiții de mare putere și fără filtre de atenuare aplicate, frecvențe cuprinse între aproximativ 40 Hz și 25 Hz, cu o toleranță de câțiva Hz la ambele capete ale intervalului, fără a apărea fenomenul de supra-excursie a membranei în acest interval. O frecvență de rezonanță orientativă care, de regulă, ar putea satisface acest criteriu este cea de 30 Hz, nelimitând invenția la această valoare exactă. Ea poate fi stabilită exact prin utilizarea unor programe de calculator specializate, care permit simularea tuturor aspectelor funcționării fiecărei incinte, cum ar fi excursia membranei în funcție de frecvența semnalului și de puterea aplicată, caracteristica de răspuns în frecvență, etc, în funcție de parametrii Thiele-Small (T/S) ai fiecărui difuzor și de caracteristicile incintei în care acesta va funcționa. Ceea ce trebuie urmărit este ca excursia membranei să se încadreze în limita parametrului X_{max} al difuzorului pentru intervalul de frecvențe de interes, 40 - 25 Hz, precum în FIG. 4 (2540). O frecvență de rezonanță foarte joasă poate fi obținută, în general, prin două metode clasice, nefiind limitată la acestea. Prima constă într-o secțiune transversală micșorată a portului, cu avantajul unei lungimi necesare a portului reduse, dar cu riscul crescut al apariției turbulenței la puteri mari, prin acest fenomen fiind afectată eficiența incintei acustice și ajungându-se, în situații extreme, chiar și la anularea rezonanței, ceea ce

poate antrena distrugerea mecanică a difuzorului. Această metodă ar trebui, așadar, evitată. Cea de-a doua metodă, recomandabilă, reprezintă situația opusă, în care avem porturi mai lungi, dar cu o arie a secțiunii transversale adecvată, având avantajul unor viteze, mai degrabă, reduse ale aerului prin porturi. În cazul în care, pentru această metodă, lungimea necesară a porturilor depășește dimensiunile incintei acustice, se poate proceda, fără probleme, la curbarea traiectoriei porturilor la 90 de grade sau corespunzător conturului incintei. Dincolo de cele două metode teoretice, care au doar un rol orientativ, stabilirea, în realitate, a raportului optim dintre dimensiunile porturilor se realizează tot prin intermediul simulării computerizate, în funcție de frecvența de rezonanță stabilită anterior, de volumul incintei și de puterea maximă aplicată difuzorului, urmărind ca viteza maximă a aerului prin porturi, la frecvența de rezonanță, să nu depășească 5% din viteza sunetului, respectiv 17 m/s. Este, de asemenea, recomandată evitarea porturilor similare unor prisme triunghiulare sau de orice altă formă care implică unghiuri ascuțite, acestea favorizând apariția turbulențelor. Forma geometrică optimă a porturilor, care oferă cea mai mică suprafață laterală raportată la perimetrul bazei și, implicit, cele mai reduse fricțiuni, este aceea de cilindru. Muchiile rotunjite la extremitățile porturilor pot ajuta, de asemenea, la diminuarea micilor zgomote nedorite. Toate aceste precizări de ordin practic au fost considerate necesare datorită faptului că, într-un volum uzual de incintă acustică, obținerea unei frecvențe foarte joase de rezonanță este realizabilă, dar implică o atenție sporită.

Cea de-a doua etapă constă în implementarea în DSP, conform invenției, a filtrării și a limitării necesare, în vederea menținerii sub control a excursiei membranei și a liniarizării curbei de răspuns a incintei acustice. Această etapă presupune abordarea din patru perspective: controlul excursiei membranei sub frecvența de rezonanță FIG. 4 (10) printr-un filtru trece-sus, apoi aplicarea unui filtru parametric prin care să fie ponderată supra-excursia membranei apărută deasupra frecvenței de rezonanță (9), după aceea, dacă este cazul, aplicarea altor filtre pentru liniarizarea caracteristicii de răspuns în frecvență a incintei, iar la final aplicarea unui limitator al vârfurilor de amplitudine. După liniarizarea răspunsului, dacă este necesar, se reajustează primele două filtre, în cazul în care au apărut supra-excursii ale membranei. Toate filtrele pot fi simulate cu ajutorul aceluiași programe de calculator, amintite anterior, care permit vizualizarea efectului filtrelor asupra tuturor parametrilor de funcționare ai incintei acustice - excursia membranei, caracteristica de răspuns în frecvență cu afișarea directă a nivelului presiunii sonore obținute pentru o anumită putere, etc. Merită precizat faptul că, în realitate, noțiunea de putere aplicată asupra unui difuzor este relativă, impedanța bobinei difuzorului variind în funcție de frecvență. Singura mărime electrică

relevantă este aceea a tensiunii alternative aplicate bobinei, fiind utilă, în principal, în simularea valorii de vârf a excursiei membranei. Este important să urmărim valoarea de vârf a excursiei deoarece aceasta se întâmplă fizic și trebuie să se încadreze în parametrul X_{max} , iar limitatorul de vârfuri ale amplitudinii semnalului este extrem de util în acest sens, permițând calibrarea valorilor tranzitorii maxime de tensiune de la ieșirea amplificatorului de putere. Pentru facilitarea aplicării invenției, vom indica și categoriile de filtre care pot fi utilizate, de regulă, în această etapă, dar fără a limita invenția la acestea. Pentru filtrul trece-sus care să controleze excursia membranei sub frecvența de rezonanță, indicat este cel de ordinul 4 (24 dB/octavă) de tip Butterworth, iar o valoare a frecvenței de tăiere (-3 dB) de la care putem începe simularea ar fi cea la care începe supra-excursia (10) din FIG. 4. Un exemplu de excursie conformă a membranei după aplicarea unui astfel de filtru poate fi consultat în FIG. 2 (21). Pentru controlul fenomenului de supra-excursie prezent deasupra frecvenței de rezonanță, precum în FIG. 4 (9), există două posibilități: fie aplicăm un filtru trece-jos de tip Butterworth de ordinul 4, de exemplu, al cărui punct de tăiere poate fi setat la frecvența la care supra-excursia atinge maximum, soluție valabilă în cazul subwoofereleor, deși, chiar și pentru acestea, se pot pierde frecvențe importante, situate mai sus, fie apelăm la un filtru parametric sau egalizator parametric, util atât pentru subwoofere cât și pentru incintele de bandă-largă, a cărui frecvență centrală să fie reglată la frecvența la care apare maximum supra-excursiei, câștigul să fie negativ, respectiv o atenuare de câțiva decibeli, iar factorul de calitate Q să aibă o valoare de pornire de 2. Acestea sunt valorile orientative de la care putem începe simulările, însă comportamentul exact al fiecărei incinte trebuie observat și optimizat în fiecare caz. În privința liniarizării caracteristicii de răspuns, cel mai adesea va apărea o atenuare naturală a răspunsului către frecvența de rezonanță, aceasta fiind foarte joasă, iar volumul incintei, de cele mai multe ori, insuficient pentru un răspuns liniar, de aceea poate fi necesar încă un filtru parametric a cărui frecvență centrală să fie situată la frecvența de rezonanță a incintei, iar câștigul și factorul de calitate alese în funcție de comportamentul incintei. Trebuie, totuși, avut în vedere faptul că fiecare creștere de 3 dB a câștigului acestui filtru înseamnă o dublare a puterii solicitate de la amplificator și un potențial risc termic asupra bobinei difuzorului, impedanța fiind minimă la frecvența de rezonanță a incintei acustice. Din nou, principalul mijloc de stabilire corectă a parametrilor filtrelor este simularea computerizată. În FIG. 5 (32R), este prezentat un exemplu de liniarizare optimă a răspunsului unui subwoofer acordat, conform principiului invenției, la o frecvență 32 Hz, simbolizând, comparativ, și răspunsul acestuia pentru o frecvență clasică de rezonanță de 45 Hz (45R).

Corecțiile utilizate pentru obținerea caracteristicii (32R) au presupus valori moderate ale atenuărilor și amplificărilor, respectiv +3 dB la 32 Hz cu factorul de calitate 3, -3.5 dB la 49 Hz cu factorul de calitate 2 și un filtru trece-sus Butterworth de ordinul 4 setat la 27 Hz. În cazul clasic (45R), răspunsul este aproape cel natural al incintei, neavând implementat decât un filtru trece-sus Butterworth de ordinul 4 setat la 35Hz, iar ambele exemplificări, (32R) și (45R), includ și un filtru Linkwitz-Riley de ordinul 4 stabilit la 100 Hz, aflându-ne în cazul unor aplicații de incintă acustică dedicată reproducerii frecvențelor joase (45R), respectiv cu extensie în frecvențe ultra-joase (32R). Există o diferență de 4 dB a nivelului maxim obținut între cazurile (32R) și (45R), normală, însă avantajul evident al aplicației (32R) constă în capacitatea de a reproduce frecvențele ultra-joase la niveluri semnificativ mai mari, astfel că, la 30 Hz, aplicația (32R) furnizează 116 dB, având doar 4 dB atenuare față de nivelul său maxim de 120 dB, în timp ce (45R) oferă doar 104 dB, cu 20 dB mai puțin decât nivelul său maxim, așadar liniaritatea caracteristicii (32R) și extensia în frecvențe joase sunt net superioare celor din cazul (45R).

În FIG. 6 sunt ilustrate și excursiile membranei, (32e) și (45e), pentru aceleași două exemple comparative, (32R), respectiv (45R), putând observa rezultatul aplicării principiilor primelor două etape ale invenției în cazul (32e), respectiv excursia redusă a membranei difuzorului în intervalul frecvențelor ultra-joase 25 Hz - 40 Hz și încadrarea excursiei în excursia maximă liniară a difuzorului, X_{max} (15).

Realizarea primelor două etape ale invenției nu prezintă un nivel ridicat al dificultății, făcând apel la noțiuni elementare de electroacustică și la o experiență de nivel mediu în proiectarea unor astfel de incinte, însă prima etapă reprezintă, în sine, o abordare neconvențională a proiectării incintelor acustice bass-reflex prin poziționarea acestora, prin natura invenției, într-un regim de funcționare în care rareori le vom întâlni în lipsa unui difuzor de mare performanță, iar ambele etape sunt o parte integrantă a invenției, reprezentând fundamentul fizic care permite aplicarea celei de-a treia etape a invenției, pe care o vom dezvălui în cele ce urmează. Elementul-cheie, care explică principiul de bază precizat în secțiunile precedente, constând în faptul că incintei acustice i se furnizează, întotdeauna, întregul spectru de frecvențe joase, cu accent pe gama de frecvențe ultra-joase cuprinse între 40 Hz și 25 Hz, în mod independent de materialul muzical, obținând astfel performanța maximă a incintei acustice și o experiență sonoră absolut superioară, atât în cazul producțiilor muzicale moderne cât și în cazul celor mai vechi, constă în implementarea unui sintetizator de subarmonice în DSP. Acesta se bazează pe generarea unui nou semnal prin divizarea (înjumătățirea) frecvenței fundamentalei, nu prin multiplicarea acesteia,

precum în cazul armonicelor. Astfel, conținutul muzical este întotdeauna extins până la frecvențele ultra-joase dintre 40 Hz și 25 Hz sau chiar 20 Hz, obținând rezultate uimitoare.

Dacă nu am implementa sintetizatorul de subarmonice, tot principiul de acordare a incintei la o frecvență de rezonanță foarte joasă și filtrarea creată în DSP, prezentate în primele două etape ale invenției, se pot transforma doar într-un proiect de incintă acustică de fidelitate mai mare, care poate reproduce foarte bine frecvențele ultra-joase, însă, cel mai adesea, materialul muzical nu conține frecvențe situate sub 40 Hz, așadar acest lucru ar transforma întregul concept doar într-un clasic proiect de compromis. Într-un astfel de caz, s-ar renunța la un nivel mai ridicat de ieșire, din pricina fenomenului de supra-excursie apărut deasupra frecvenței de rezonanță, pentru o mai bună calitate a sunetului, profitând de acea extensie superbă a răspunsului către frecvențe ultra-joase doar în cazul unui număr limitat de piese muzicale moderne, care conțin cu adevărat frecvențe de până la 30 Hz sau chiar 25 Hz. Implementând sintetizatorul de subarmonice în DSP precum în FIG. 7, conform invenției, orice materiale muzicale, în special producțiile mai vechi, conținând frecvențe în intervalul 40 Hz - 80 Hz, sunt transpuse cu o octavă mai jos de către sintetizatorul de subarmonice (86), obținând un nou semnal subarmonic în intervalul 20 Hz - 40 Hz care, prin algoritmul creat în DSP pentru invenție, va fi însumat, considerând blocul opțional (85) ca fiind inexistent și înlocuit cu o conexiune directă, cu semnalul original (84), obținând un semnal cu spectru complet (87), în intervalul 20 Hz - 80 Hz. În FIG. 7, sintetizatorul de subarmonice (86) poate fi însoțit, conform invenției, și de un filtru trece-jos (85), util în eliminarea unor posibile frecvențe nedorite, generate de algoritmul sintetizatorului de subarmonice (86). În cazul în care o sursă de semnal, precum muzica modernă, conține deja frecvențe situate sub 40 Hz, acestea vor trece nemodificate de sintetizator, însă armonicile lor, prezente de cele mai multe ori, vor declanșa, cu siguranță, sintetizatorul de subarmonice, ducând la sporirea frecvențelor ultra-joase. Astfel, întregul potențial al incintei acustice proiectate prin această invenție este fructificat întotdeauna la maximumul său potențial, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei audio, iar sunetul obținut este absolut superior, în comparație cu forma convențională a aceleiași incinte acustice.

FIG. 7 conține toate blocurile principale ce trebuie implementate în DSP (90), conform invenției, și putem remarca și o ilustrare a întregului concept al invenției. Incinta acustică (1) este reaccordată (5) la o frecvență foarte joasă prin prelungirea portului (3) cu un nou segment (4), controlul excursiei pentru noua frecvență de rezonanță este asigurat prin secțiunea (7), compusă dintr-un egalizator parametric multiplu (83), dintr-un filtru trece-sus (82) și limitatorul de vârfuri ale amplitudinii (81), controlul temperaturii bobinei difuzorului

(2) este asigurat printr-un limitator de tip RMS (80), care se deosebește de limitatorul de valori de vârf (81) doar prin timpii de atac și de eliberare mult mai lungi, astfel încât acesta nu afectează valorile tranzitorii, blocul de generare a subarmonicilor (8) a fost deja prezentat, iar (6) reprezintă amplificatorul de putere.

O posibilă extensie a invenției, cu privire la implementarea sintetizatorului de subarmonice, ar consta în înlănțuirea în cascadă a două sau mai multe sintetizatoare de subarmonice, însumând, apoi, ieșirea fiecărui sintetizator de subarmonice cu semnalul original. Astfel, un program audio care conține frecvențe joase în intervalul 80Hz - 160 Hz va fi, de asemenea, transpus în intervalele de frecvențe subarmonice corespunzătoare 40 Hz - 80 Hz și 20 Hz - 40 Hz, obținând, prin însumarea semnalelor, un semnal de joasă frecvență cu spectru complet în intervalul de frecvențe 20 Hz - 160 Hz.

În concluzie, conceptul de generare a subarmonicilor nu este nou, fiind brevetat în 1978 prin US4182930A, însă integrarea sa în lanțul de semnal, mai ales direct într-un model de incintă acustică activă echipată cu DSP, astfel încât să fie asigurat în mod continuu un semnal cu spectru complet de frecvențe, de până la 20 Hz, pentru orice gen muzical, împreună cu toate principiile enunțate mai sus (acordarea incintei la o frecvență de rezonanță foarte joasă, împreună cu tehnicile asociate de filtrare activă, integrate în DSP), formează conceptul-nucleu al acestei invenții. Astfel, este oferită o soluție la cheie, drept răspuns la dorința supremă a mediului audio profesional de a avea o incintă acustică în măsură să ofere o extensie a răspunsului până la frecvențele ultra-joase, împreună cu funcționalitatea de a rezolva automat problemele ce țin de spectrul frecvențelor joase ale sursei audio (frecvențe lipsă, situație în care tehnicile clasice de aplicare a egalizatoarelor care să amplifice anumite frecvențe nu funcționează), obținând, astfel, un sunet puternic de joasă frecvență perfect echilibrat, independent de genul muzical.

Avantajele acestei invenții sunt evidente și au fost exprimate în tot cuprinsul lucrării: obținerea unui sunet de un nivel calitativ cu totul superior, pornind de la incinte acustice de performanță medie care, în lipsa invenției, nu sunt capabile să redea frecvențe ultra-joase, iar în cazul în care ar fi reacordate la o frecvență foarte joasă, nu ar reprezenta decât o compromitere a nivelului acustic maxim pentru a putea reda, în rare ocazii, frecvențe ultra-joase, pe care, din păcate, majoritatea producțiilor muzicale, în special cele din trecut, oricum nu le conțin. Invenția, în schimb, a fost deja aplicată, în scop experimental, asupra unei incinte acustice profesionale, echipată cu DSP și amplificator, iar rezultatul este uimitor și lipsit de echivalență, la ora actuală, în rândul produselor accesibile și nu numai, absolut

orice material audio fiind redat în mod automat cu acele frecvențe ultra-joase, atât de apreciate în special în domeniul audio profesional. În lipsa invenției, chiar dacă ar fi acordată la o frecvență foarte joasă, o incintă acustică este dependentă de spectrul de frecvențe al sursei audio și chiar de reglajele efectuate de către utilizator, care poate aplica, de pildă, o corecție formată dintr-un filtru parametric prin care amplifică exact o frecvență centrală situată în punctul în care apare supra-excursia membranei, deasupra frecvenței de rezonanță, precum în FIG. 3 (30e). Într-o asemenea situație, difuzorul nu este ajutat absolut deloc de incinta acustică, aflându-se la o frecvență mult superioară celei de rezonanță, și se poate ajunge, în lipsa existenței unor limitări de protecție, inclusiv la distrugerea mecanică a difuzorului. Prin această invenție, în schimb, orice frecvență din intervalul problematic (30e), în care poate apărea supra-excursie și care, să presupunem, este cuprins între 40 Hz și 70 Hz, este dublat imediat, în mod automat, de către sintetizatorul de subarmonice (86) cu un nou semnal situat într-un interval cu frecvență înjumătățită, 20 Hz - 35 Hz, în care nu poate apărea supra-excursie, cu excepția frecvențelor extrem de joase, către 20 Hz, care sunt oricum atenuate prin filtrul trece-sus (fundamentală de 40 Hz, corespunzătoare frecvenței subarmonice de 20 Hz reprezintă abia începutul intervalului de supra-excursie FIG. 3 (SE) și poate fi redată ea însăși fără dificultăți). Așadar, orice creștere a nivelului în intervalul problematic de frecvențe (30e) este acompaniată automat de creșterea proporțională a amplitudinii subarmonicilor corespunzătoare, iar profilul spectrului de frecvențe, stabilit prin implementarea filtrării din etapa a doua a invenției (7), este întotdeauna asigurat, incinta acustică având întotdeauna disponibilă și o frecvență foarte joasă, pe care o poate reda fără probleme la putere maximă.

Principala utilizare a invenției este reprezentată de cea mai utilă implementare a acesteia, direct în cadrul incintelor acustice active, echipate cu amplificare internă și un DSP programabil, însă poate fi extinsă și la aplicații multi-modulare, cum ar fi seturile formate dintr-o incintă acustică și un modul dedicat de procesare și amplificare sau chiar la configurațiile tradiționale, compuse dintr-o incintă acustică modificată conform invenției, un amplificator extern și un procesor digital de semnal universal cu funcție de generare de subarmonice integrată, configurat conform invenției. De asemenea, invenția este aplicabilă, teoretic, atât în cazul incintelor acustice de bandă-largă, cât și al subwooferelor, însă acestea din urmă, în special cele din categoria profesională, oferă, cel mai adesea, condițiile optime pentru implementarea invenției.

Figurile atașate descrierii au următoarele semnificații:

- FIG. 1 - Problema clasică de supra-excursie a membranei sub frecvența de rezonanță;
- FIG. 2 - Rezolvarea problemei de supra-excursie sub frecvența de rezonanță;
- FIG. 3 - Apariția supra-excursiei membranei și deasupra frecvenței de rezonanță, prin acordarea incintei acustice bass-reflex la frecvențe ultra-joase;
- FIG. 4 - Exemplu de alegere optimă a unei frecvențe de rezonanță foarte joase, conform principiului invenției;
- FIG. 5 - Exemplu de liniarizare optimă, conform principiului invenției, a răspunsului în frecvență al unui subwoofer bass-reflex acordat la o frecvență foarte joasă (32R) și un exemplu comparativ de răspuns al aceluiași subwoofer în lipsa invenției (45R);
- FIG. 6 - Excursiile membranei corespunzătoare exemplelor (32R) și (45R) din FIG. 5;
- FIG. 7 - Ilustrarea blocurilor programului de implementat în DSP, conform invenției.

Prezentarea detaliată a unui mod de realizare a invenției se oglindește în totalitate în secțiunea dedicată expunerii invenției, iar principiul de funcționare și precizările suplimentare din cadrul etapelor invenției, privitor la abordările recomandate și la valorile orientative ale diverșilor parametri întâlniți în simularea computerizată, formează tot suportul necesar aplicării cu succes a invenției de către o persoană de specialitate în domeniu. De asemenea, în realizarea invenției este esențială posibilitatea simulării computerizate a funcționării unei incinte acustice, orice persoană de specialitate în domeniu fiind, în mod normal, familiarizată cu această activitate. În vederea programării DSP-ului, toată informația relevantă, din perspectiva invenției, este disponibilă în FIG. 7, ilustrând toate blocurile importante și tot parcursul recomandat al semnalului, așadar o persoană de specialitate în domeniu nu ar trebui să întâmpine dificultăți nici din acest punct de vedere.

Aplicarea industrială face apel la etapele standardizate de proiectare și la procesele de fabricație deja existente, singura diferență apărând doar în abordările neconvenționale pe care invenția le sugerează, principale fiind acordarea incintei la o frecvență mult mai joasă decât ar permite X_{max} , în vederea creării posibilității de a reda frecvențele ultra-joase, controlul excursiei membranei și implementarea sintetizatorului de subarmonice în DSP, însoțit de un filtru trece-jos opțional, pentru limitarea frecvenței maxime a subarmonicilor. Realizarea efectivă și transpunerea în producția de serie sunt cunoscute oricărui producător din acest domeniu.

REVENDICĂRI

1. O incintă acustică, având cel puțin un difuzor și cel puțin o cameră de rezonanță cu o frecvență joasă de rezonanță la care excursia membranei difuzorului (2) este minimă, precum incinta acustică bass-reflex (1), dar fără a se limita la acest tip, a cărei capabilitate de a reproduce fără atenuări frecvențele ultra-joase, mai mici de 40Hz, este limitată, în condiții de mare putere, din cauza constrângerilor clasice de proiectare (12, 13, 30e) ale incintei acustice, fiind caracterizată prin aceea că este extinsă, conform invenției, limita inferioară a frecvențelor joase reproduse de incinta acustică prin scăderea frecvenței de rezonanță a incintei acustice la aproximativ 30 Hz, cu o posibilă toleranță de câțiva Hz, astfel încât, în condiții de mare putere, excursia membranei (2) să nu depășească excursia maximă liniară X_{\max} (15) a difuzorului în intervalul aproximativ 25 Hz - 40 Hz (2540), cu o posibilă toleranță de câțiva Hz la ambele capete ale intervalului, dar să prezinte, conform invenției, după scăderea frecvenței de rezonanță, un fenomen de supra-excursie a membranei difuzorului deasupra frecvenței de rezonanță (9), după care, conform invenției, prin implementarea într-un Procesor Digital de Semnal (90) a unor filtre parametrice (83) pentru controlul supra-excursiei membranei (9) și pentru liniarizarea caracteristicii de răspuns, a unui filtru trece-sus (82) pentru controlul supra-excursiei normale a membranei sub frecvența de rezonanță (10) și a unui sintetizator de subarmonice (86), al cărui semnal (88), considerând blocul opțional (85) inexistent și înlocuit cu o conexiune directă, este însumat cu semnalul original (84), se obține un nou semnal (87), extins cu o octavă inferioară, astfel încât este asigurată în mod continuu, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei de semnal (84), funcționarea incintei acustice (1) în regiunea frecvenței de rezonanță (2540), cu excursie redusă a membranei difuzorului (2), punându-se, astfel, în valoare scăderea frecvenței de rezonanță a incintei acustice și obținându-se un sunet de un nivel calitativ cu totul superior.
2. Incintă acustică a cărei limită inferioară a frecvențelor joase reproduse a fost extinsă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că, pe lângă sintetizatorul propriu-zis de subarmonice (86), este utilizat și un filtru trece-jos (85), în vederea eliminării unor posibile frecvențe nedorite generate de algoritmul sintetizatorului de subarmonice (86).
3. Incintă acustică a cărei limită inferioară a frecvențelor joase reproduse a fost extinsă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că sunt conectate în cascadă mai multe sintetizatoare de subarmonice (86), însumând apoi ieșirea fiecăruia dintre aceste sintetizatoare de subarmonice cu semnalul original (84), obținând un nou semnal, extins cu

un număr de octave inferioare egal cu numărul de sintetizatoare de subarmonice conectate în cascadă.

4. Incintă acustică a cărei limită inferioară a frecvențelor joase reproduse a fost extinsă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că invenția revendicată poate fi aplicată atât în cazul incintelor acustice de bandă largă, cât și al celor destinate doar reproducerii frecvențelor joase, denumite subwoofer.

5. Incintă acustică a cărei limită inferioară a frecvențelor joase reproduse a fost extinsă, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că invenția revendicată poate fi utilizată atât în cazul incintelor acustice active, echipate cu amplificare internă și DSP programabil, dar poate fi și extinsă la aplicații multi-modulare, cum ar fi seturile formate dintr-o incintă acustică și un modul dedicat de procesare și amplificare sau chiar la configurațiile tradiționale, compuse dintr-o incintă acustică a cărei frecvență de rezonanță este modificată conform invenției, un amplificator extern și un procesor digital de semnal universal cu funcție de generare de subarmonice integrată, configurat conform invenției.

DESENE

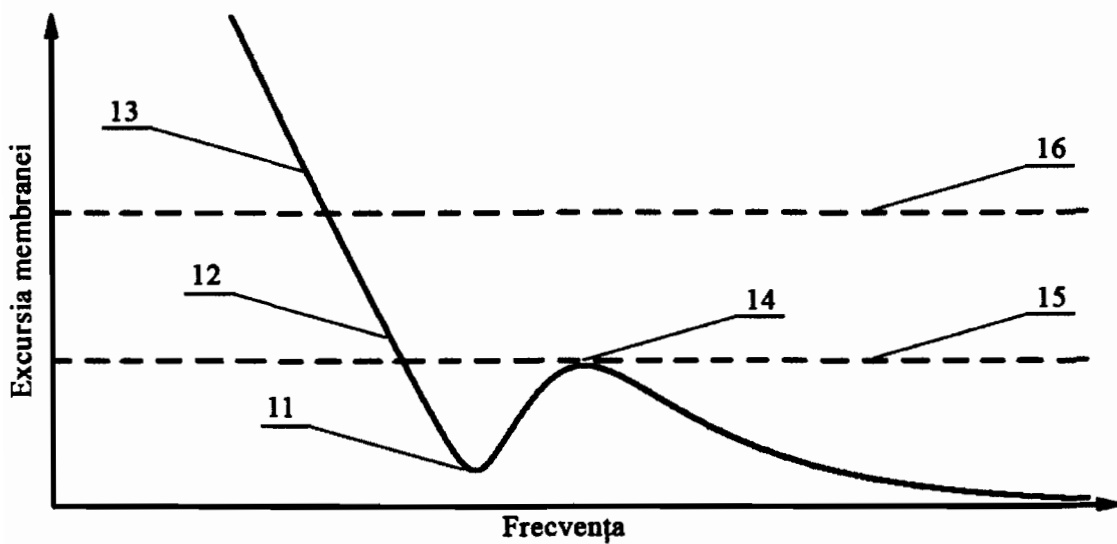


FIG. 1

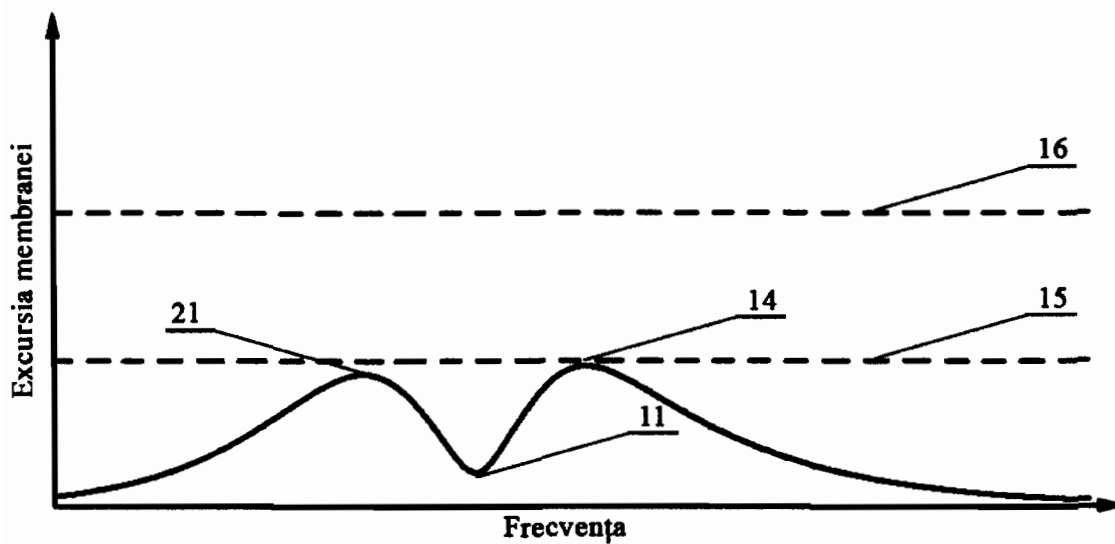


FIG. 2

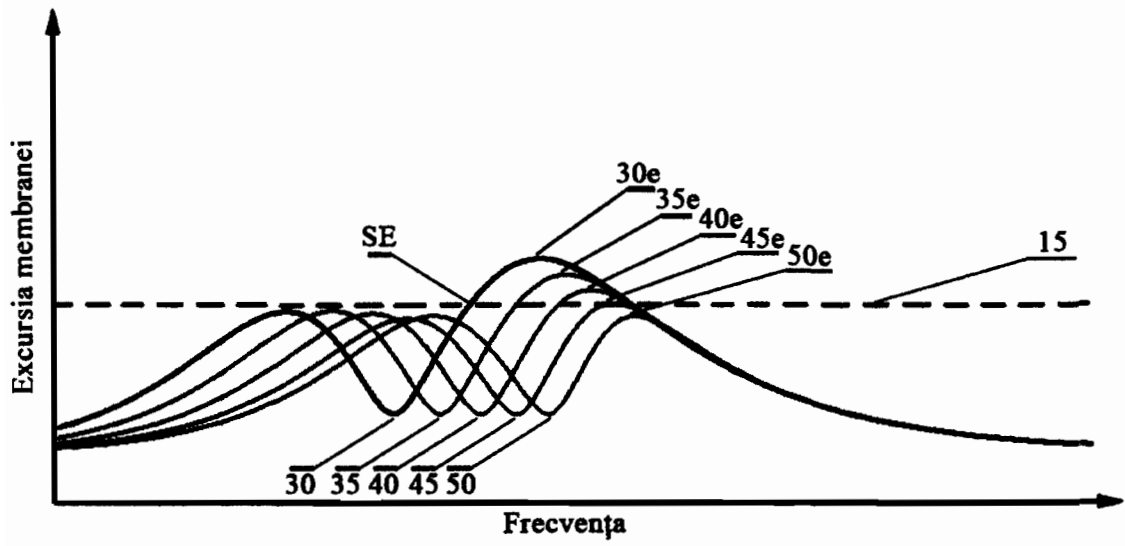


FIG. 3

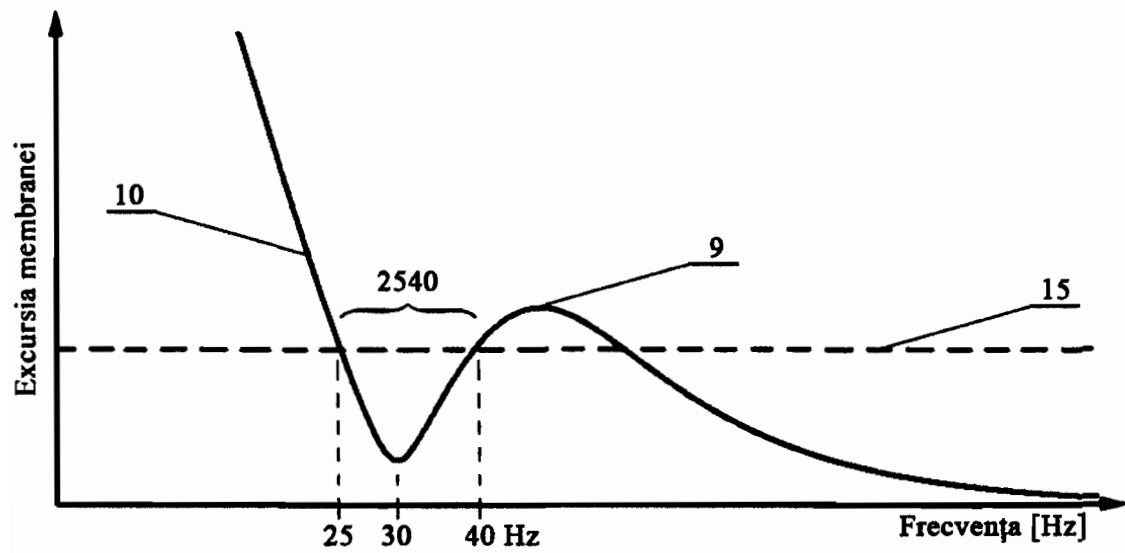


FIG. 4

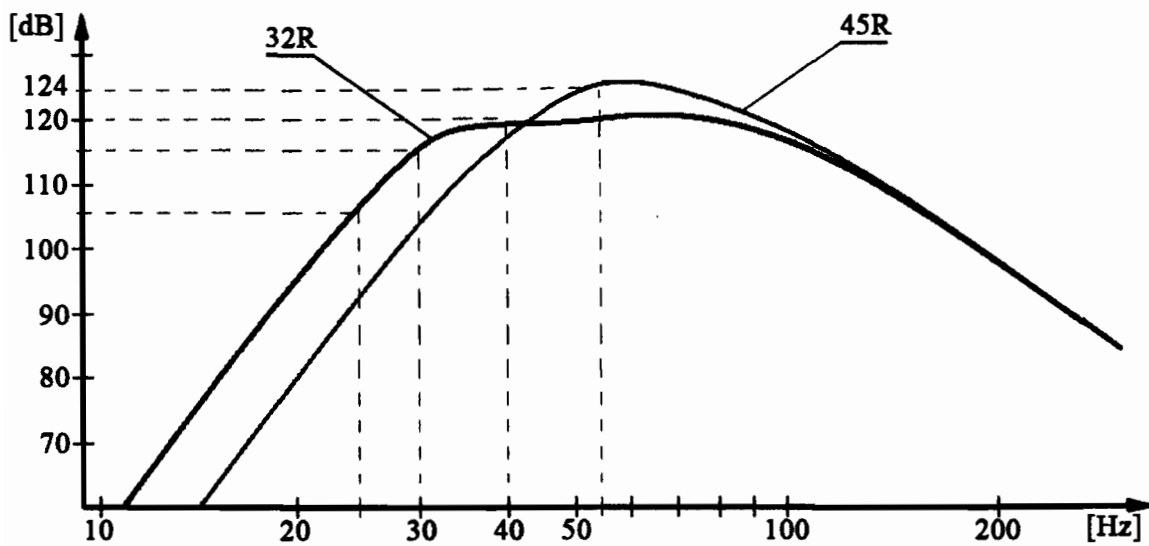


FIG. 5

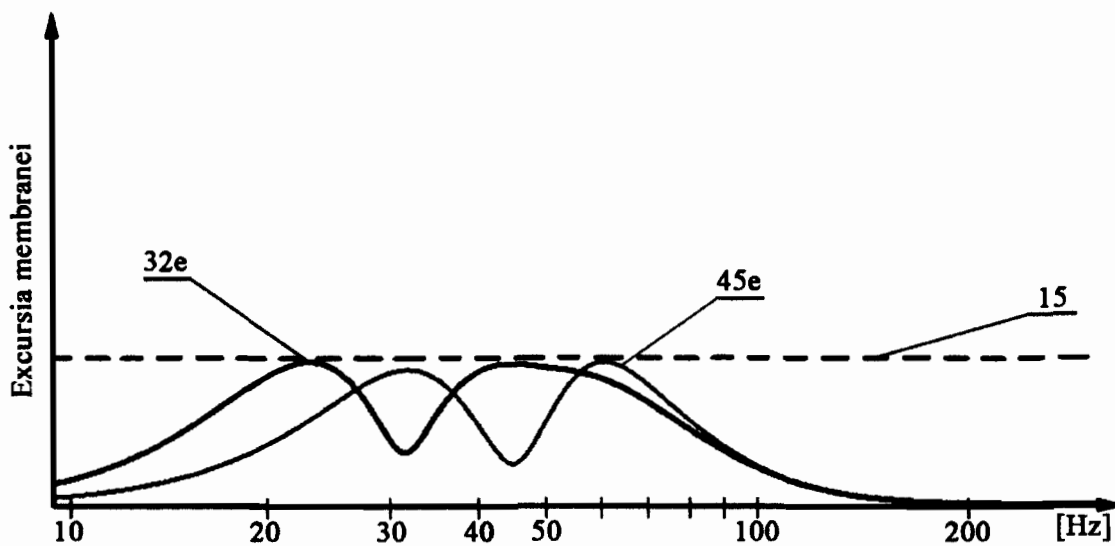


FIG. 6

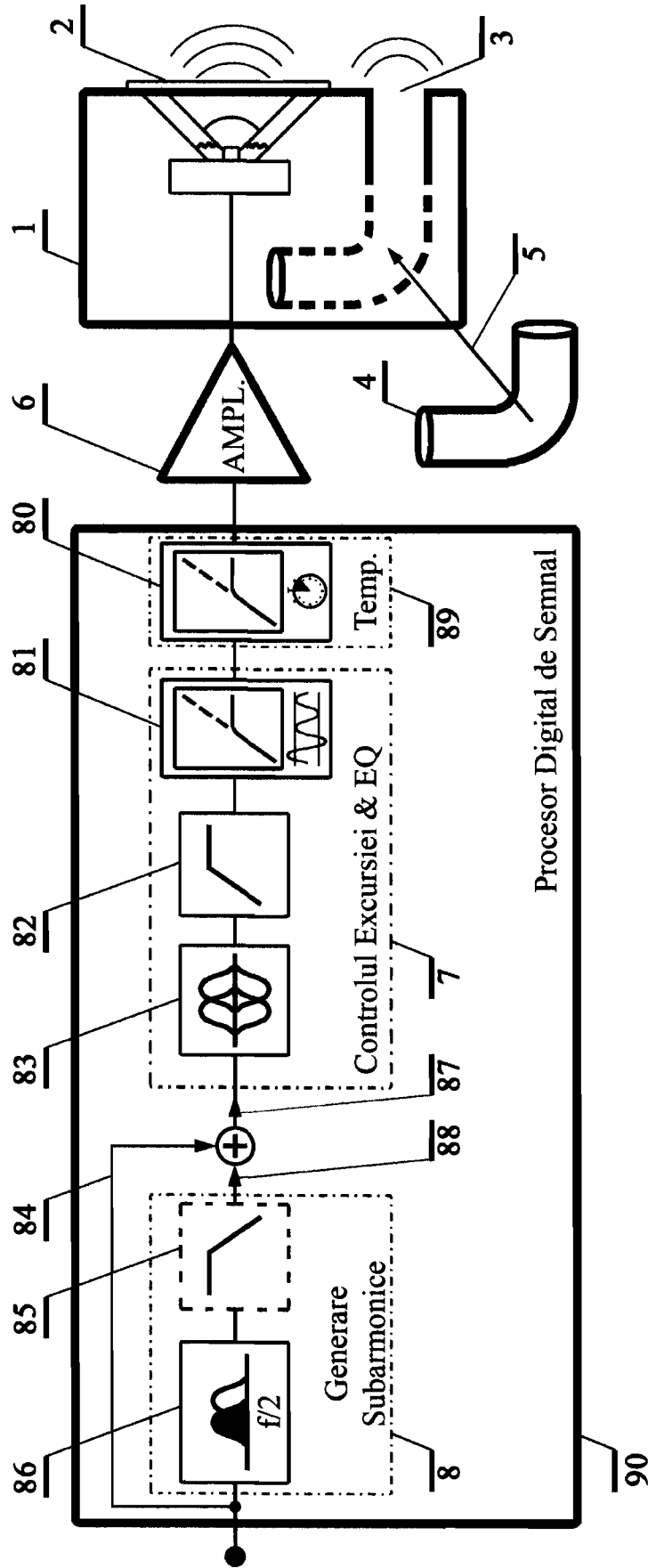


FIG. 7