

Măsurarea parametrilor Thiele-Small ai difuzorului.

Parametrii Thiele-Small sînt necesari în proiectarea incintelor acustice. Înainte de existența acestora, procesul construirii unei incinte acustice cu răspuns în frecvență adecvat se baza mai mult pe experiența designer-ului și consta în testarea difuzorului în mai multe volume și tipuri de incinte pînă cînd se ajungea la performanța dorită. Datorită lucrărilor teoretice și practice create de inginerii australieni A. N. Thiele și Richard H. Small cu aproape patruzeci de ani în urmă, proiectarea incintelor acustice constă astăzi doar în modelarea matematică a comportării unui difuzor într-un volum determinat. Ecuațiile care descriu această comportare sînt astăzi baza unui număr de programe de computer cu care putem simula răspunsul în frecvență, variația presiunii acustice, schimbarea fazei undei acustice, etc., fără să fi construit incinta în prealabil.

În lucrările lor teoretice, Thiele și Small au identificat și descris matematic comportarea din punct de vedere electro-mecanic / electro-magnetic și interacțiunile care apar între elementele constructive ale unui difuzor și aerul din interiorul incintei acustice. Aceste studii au dus la identificarea și descrierea parametrilor care le poartă numele.

Cei mai importanți parametri sînt:

fs	Frecvența de rezonanță a difuzorului în aer liber. Se măsoară în herți (Hz).
Re	Rezistența electrică a bobinei măsurată în curent continuu. Se măsoară în ohmi (Ω).
Z	Impedanța difuzorului măsurată în curent alternativ. Se măsoară în ohmi (Ω).
Le	Inductanța bobinei difuzorului. Se măsoară în milihenry (mH).
Qes	Factorul de calitate „electric” datorat circuitului electromagnetic al difuzorului. Adimensional.
Qms	Factorul de calitate „mecanic” datorat suspensiilor și membranei. Adimensional.
Qts	Factorul de calitate total. Adimensional.
Cms	Compliance mecanică a masei mobile. Se măsoară în metri/Newton.
Vas	Se măsoară în unități de volum și reprezintă volumul de aer echivalent care presat cu o suprafață egală cu suprafața membranei difuzorului are aceeași compliance mecanică (sau elasticitate) cu sistemul mobil compus din membrană, bobină mobilă și suspensii. Se măsoară în litri (l).
Vd	Volumul de aer dislocuit de membrana difuzorului la Xmax . Se măsoară în unități de volum.
Xmax	Excursia maximă a membranei într-o singură direcție (păstrîndu-se același număr de spire al bobinei în cîmpul magnetic generat în întrefier). Se măsoară în unități de lungime (mm). Pentru a produce o presiune acustică constantă, excursia membranei difuzorului trebuie să se quadrupleze cu fiecare coborîre de octavă (o octavă e o dublare de frecvență). Exemplu: dacă la 100 de herți membrana unui woofer se deplasează 1 mm, la 50 de herți trebuie să se deplaseze 4 mm iar la 25 de herți 16 mm... de aceea, un subwoofer bun are un Xmax mare.
B	Intensitatea cîmpului magnetic în întrefier. Se măsoară în Tesla (B).
BL	Forța circuitului electro-magnetic, sau forța cu care este deplasată masa mobilă a difuzorului. Se reprezintă prin produsul dintre intensitatea cîmpului magnetic B (Tesla) și lungimea conductorului bobinei L (metri) care se află în acest cîmp magnetic. Adimensional.
D	Diametrul membranei difuzorului. Se măsoară în unități de lungime (cm).
L	Lungimea conductorului în întrefierul magnetic. Se măsoară în unități de lungime (m).
Mms	Masa sistemului mobil al difuzorului. Se măsoară în grame (g).
$\mu 0$	Eficiența energetică sau randamentul difuzorului. Se măsoară în procente (%).
Pe	Puterea electrică pe care poate să o suporte difuzorul pe termen lung, fără a se deteriora. Se măsoară în wați (W).
SPL	(S ound P ressure L evel) sau nivelul presiunii acustice. Se măsoară în decibeli (dB), cu un SPL-metru amplasat la un metru în fața difuzorului care debitează o putere de 1 wat.
Sd	Suprafața membranei difuzorului. Se măsoară în unități de suprafață (cm ²).

Ar mai fi și alții... dar pentru a dimensiona o incintă acustică, trebuie să cunoaștem valorile a cel puțin:

fs, Re, Qes, Qms, Qts și Vas.

Binîntes că parametri ca suprafața membranei **Sd**, sau intensitatea cîmpului magnetic în întrefier **B**, nu pot fi considerați ca fiind contribuțiile lui Thiele și Small, dar pentru că au însoțit mai întotdeauna restul parametrilor, au primit aceeași denumire.

Ce nu putem măsura ?

Teoretic putem măsura toți parametrii, dar unii cum ar fi **X_{max}** sau **B**, nu pot fi măsurați direct fără să demontăm difuzorul respectiv, iar de cele mai multe ori demontarea difuzorului presupune distrugerea lui. Ca să putem măsura **X_{max}** sau **B** în mod direct, ar trebui să avem acces la întrefier. Indirect, am putea măsura **X_{max}** folosind un laser reflectat de o foiță de aluminiu fixată pe membrana difuzorului. Raza de laser e reflectată pe o bucată de hirtie gradată. Aplicând o tensiune continuă difuzorului, membrana va începe să se deplaseze proporțional cu tensiunea. Când am trecut de **X_{max}**, proporția dintre tensiunea continuă și poziția laserului pe gradații, se modifică. Ca să aflăm cât e **X_{max}** ar trebui să măsurăm și să calculăm unghiuri, distanțe, etc. Cu cât hirtia gradată e mai departe de foița de aluminiu cu atât precizia măsurătorii e mai bună. Toată treaba asta e destul de complicată avînd în vedere că erori mici în măsurători pot duce la rezultate foarte eronate.

Pentru a înțelege mai bine ce e **X_{max}** am făcut desenul de mai jos.

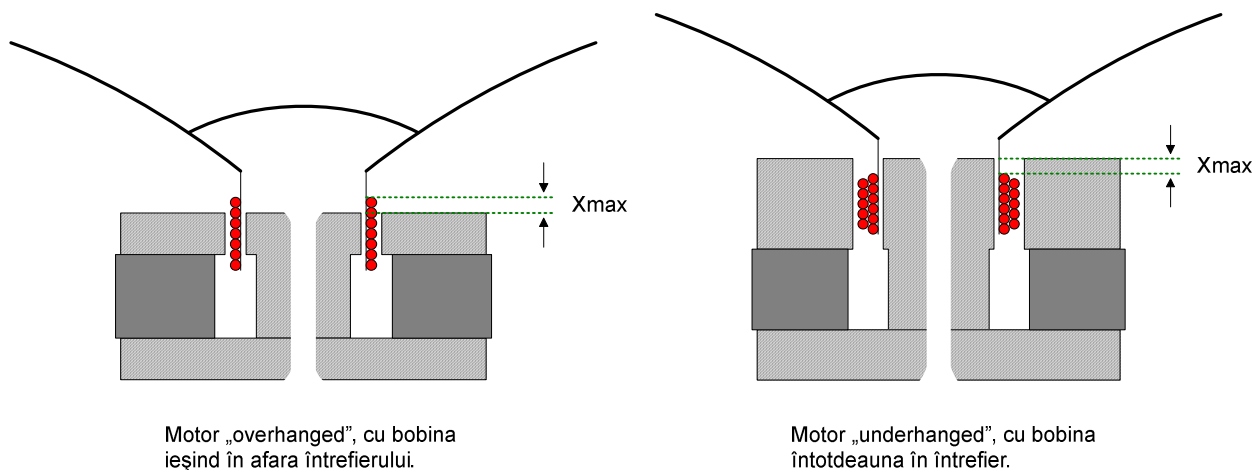


Figura 1.

Aici vedem cele două tipuri de „motoare” care sînt folosite în mai toate difuzoarele. Cel din stînga, „overhanged” e cel mai folosit design. Celălalt e folosit în special la unele tipuri de subwoofer-e. E clar că atîta vreme cît bobina rămîne cu același număr de spire în întrefier, vom avea o presiune acustică constantă. Cînd numărul de spire în cîmpul magnetic **B** din întrefier scade, apar distorsiuni.

Dar să revenim la tema noastră...

Sînt mai multe metode pentru măsurarea parametrilor Thiele-Small. Toate se bazează pe variația impedanței difuzorului, iar pentru determinat **V_{as}** se caută modificarea frecvenței de rezonanță montînd difuzorul într-o cutie de test cu volum determinat sau adăugînd o masă cunoscută sistemului mobil.

Parametrul Q (factorul de calitate)

Difuzorul este un circuit acordat și din electronică știm că factorul de calitate al unui circuit acordat este raportul dintre frecvența de rezonanță **f_s** împărțită la banda de trecere măsurată la -3 dB. Aceeași metodă e folosită și în cazul ăsta, diferența fiind că banda de trecere va fi la -6 dB pentru a micșora erorile de măsurare care apar în cazul unui difuzor cu un Q ridicat. Pentru a afla acest Q total (**Q_{ts}**), care în cazul difuzorului e compus din Q mecanic (**Q_{ms}**) și Q electric (**Q_{es}**), avem nevoie de graficul variației impedanței.

Pentru a măsura variația impedanței difuzorului avem nevoie de următorul echipament:

- Generator de semnal sinusoidal de la 5 Hz la 20 kHz.
- Frecvențmetru, dacă generatorul nu-l are încorporat.
- Milivoltmetru de tensiune alternativă care să acopere banda de frecvență a generatorului.
- Ohmetru.
- O rezistență ne-inductivă de 10 Ω, cu o putere de 0,5 wați și 1% precizie, pentru calibrarea milivoltmetrului.
- O rezistență de 1 kΩ tot ne-inductivă, cu o putere de 0,5 wați.

Precizia măsurătorilor e foarte importantă, de aceea echipamentul de mai sus trebuie să fie de bună calitate. Toate măsurătorile trebuie făcute cu o precizie de două zecimale. Generatorul trebuie să aibă tensiunea de ieșire constantă indiferent de frecvență.

Înainte de a-l conecta în montajul din Figura 2, difuzorul trebuie „rodât”. Îl lăsăm să cînte cu un semnal de 20 -30 de Hz, la nivel moderat timp de 12 ore. Procedura asta „înmoaie” suspensiile modificînd în special **f_s** și **V_{as}** cu un oarecare efect și asupra celorlalți parametri. În mod normal, difuzoarele de calitate nu prea își modifică parametrii după „rodaj”, de fapt raportul dintre **f_s** și **Q_{ts}** rămîne aproape constant, de aceea comportarea finală a difuzorului e cam la fel.

Procedăm după cum urmează.

- 1). Măsurăm cu ohmetrul rezistența electrică **Re** a bobinei. Notăm pe hîrtie valoarea aflată.
- 2). Instalăm difuzorul la cel puțin un metru față de obstacole... mobile, podea, perdele, corpul uman, etc. Pentru calibrare, conectăm în locul difuzorului rezistența de $10\ \Omega$ așa cum se vede în Figura 2.

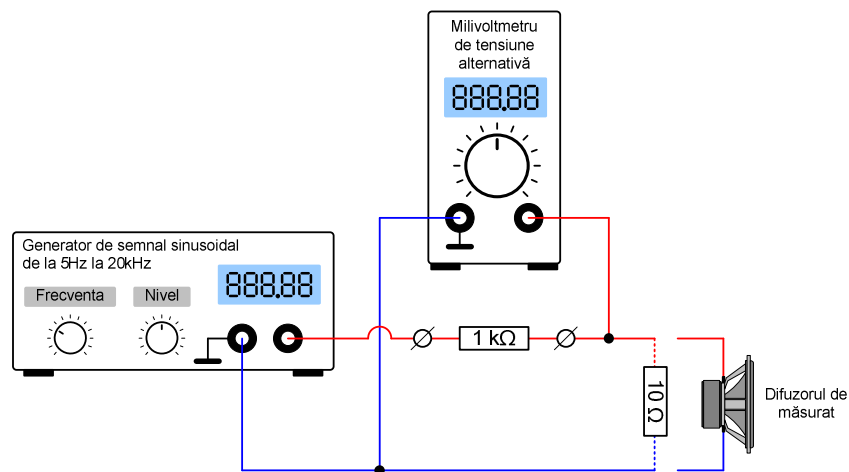


Figura 2.

- 3). Reglăm frecvența din generator în jur de 100 de herți și ajustăm nivelul de ieșire pînă citim pe milivoltmetru 10 mV. Astfel vom citi impedanța direct în ohmi... 10 mV înseamnă $10\ \Omega$, 15 mV înseamnă $15\ \Omega$, etc. Apoi înlocuim rezistența de $10\ \Omega$ cu difuzorul de măsurat.
- 4). Fără să modificăm nivelul, micșorăm frecvența pînă obținem un maxim de impedanță. O numim **Zmax** și notăm valoarea. Frecvența la **Zmax** e frecvența de rezonanță **fs**... notăm pe hîrtie valoarea ei. Pînă acum avem **Re**, **fs** și **Zmax**.
- 5). Calculăm **Zref** (valoare de referință),

$$Z_{ref} = \frac{Z_{max}}{R_e}$$

- 6). Calculăm **Zx** (valoarea la care mai jos vom afla **f1** și **f2**),

$$Z_x = \sqrt{Z_{ref} \times R_e}$$

- 7). Coborîm frecvența din generator pînă citim pe milivoltmetru valoarea calculată **Zx**. Citim pe frecvențmetru valoarea, o numim **f1** și o notăm.
- 8). Urcăm frecvența din generator pînă dincolo de **fs** și ne oprim unde citim pe milivoltmetru a doua oară valoarea **Zx**. O numim **f2** și o notăm pe hîrtie.

Ca să avem o idee mai precisă, am desenat aici graficul cu elementele descrise mai sus,

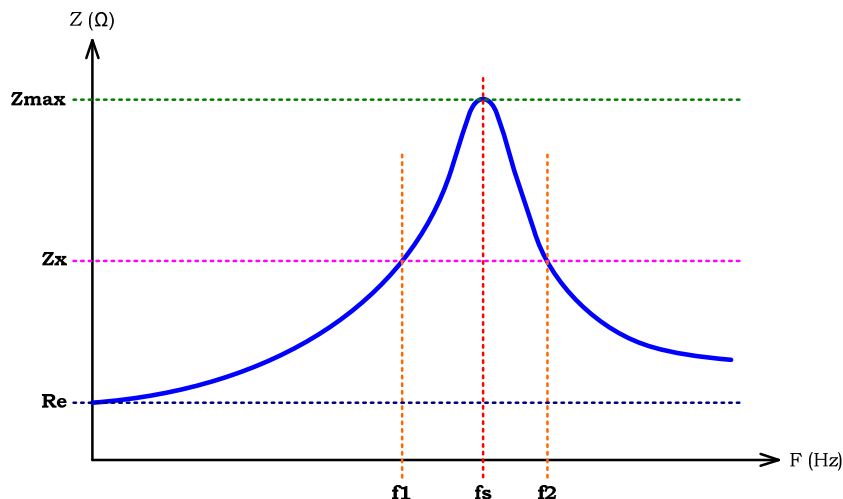


Figura 3.

Pentru cultura noastră generală... Figura 4 arată graficul variației impedanței unui difuzor.

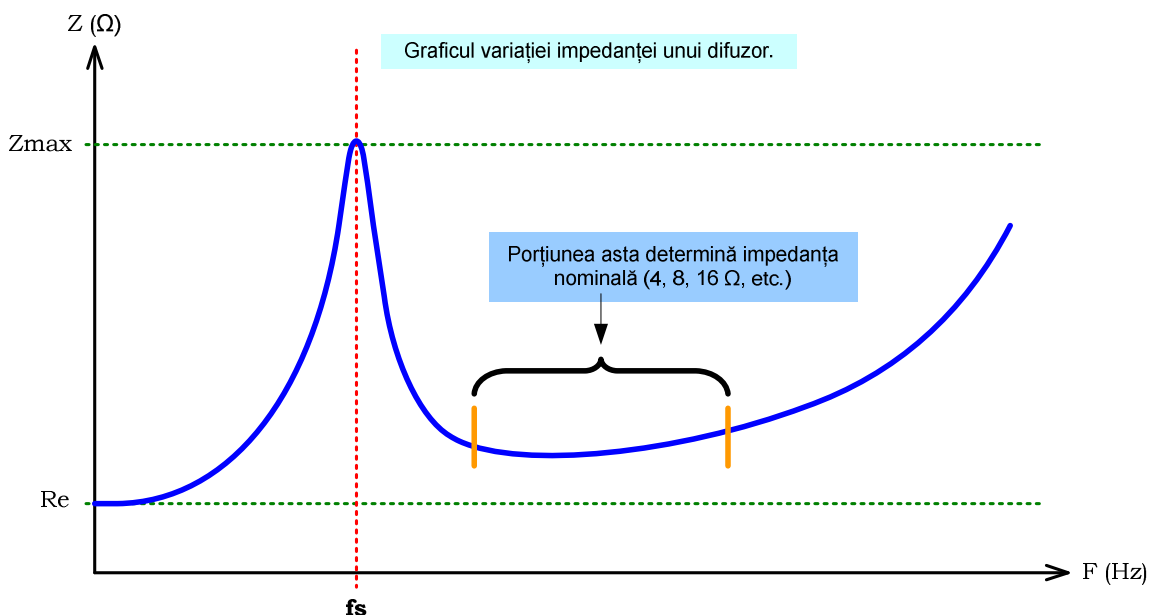


Figura 4.

9). Acum putem calcula:

$$Q_{ms} = \frac{f_s \times \sqrt{Z_{ref}}}{f_2 - f_1}$$

$$Q_{es} = \frac{Q_{ms}}{Z_{ref} - 1}$$

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms}}{Z_{ref}}$$

Așa cum am mai spus, măsurătorile trebuie făcute cu o precizie de două zecimale... lucru nu prea ușor, avînd în vedere că valorile citite pe milivoltmetru sînt influențate de zgomotul ambient (difuzorul e pe post de microfon, iar semnalele au nivele de ordinul milivolților, după virgulă avem microvolți). De aceea, e bine să repetăm măsurătorile de cîteva ori.

Parametrul Vas.

Metoda descrisă mai jos folosește o masă adăugată, (o greutate atașată masei mobile a difuzorului, menită să coboare frecvența de rezonanță **fs** cu cel puțin 25 - 30 %). Personal, am folosit monezi lipite simetric cu bandă adezivă în jurul capacului bobinei mobile. Monezile și banda adezivă au fost cîntărite în prealabil, masa totală am numit-o **m** și am notat valoarea ei. Verificînd noua frecvență de rezonanță (am numit-o **fs***) am adăugat monezi pînă am obținut cu 30 % mai puțin față de **fs** măsurat anterior. În cazul woofere-lor cu **fs** coborît, **fs*** va coborî chiar sub 10 herți.

Înainte de a calcula **Vas** trebuie să calculăm complianța mecanică **Cms** și suprafața membranei **Sd** a difuzorului.

Cms se calculează cu,

$$C_{ms} = \left[\frac{1}{2\pi^2} \times m \right] \times \left[(f_s + f_{s*}) \times \frac{(f_s - f_{s*})}{(f_s \times f_{s*})^2} \right]$$

... unde **m** este în kilograme iar **Cms** e în metri/Newton.

Măsurarea suprafeței membranei difuzorului.

Un pic de geometrie.

Membrana difuzorului e de fapt un trunchi de con. Marea majoritate a difuzoarelor au conul un pic curbat, dar nu atât de mult ca să modifice calculele de mai jos. Vom calcula suprafața acestuia, la care vom adăuga o treime din suprafața suspensiei.

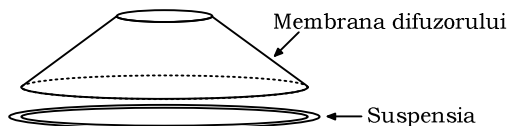
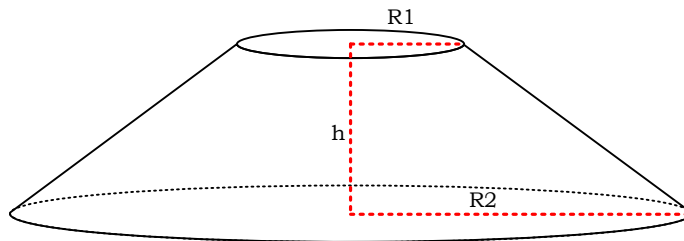


Figura 5.

După cum vedem din figura 6, R1 și R2 sunt razele trunchiului de con iar h e înălțimea. Cu formula asta calculăm aria totală din care am scăzut aria bazei conului.



$$S = \left\{ \pi \times (R1 + R2) \times \sqrt{[(R1 + R2)^2 + h^2]} \right\} - (\pi \times R2^2)$$

Figura 6.

La această arie trebuie să adăugăm o treime din aria suspensiei. Măsurăm diametrul total (plus suspensia), calculăm suprafața cercului respectiv. Scădem suprafața bazei conului calculată în formula de mai sus, și împărțim rezultatul la 3. Apoi adăugăm valoarea obținută la suprafața S calculată mai sus. Astfel am obținut valoarea lui **Sd**.

Acum putem calcula **Vas** cu formula,

$$Vas = 1,4 \times 10^5 \times Sd^2 \times Cms$$

În situația în care am fi folosit metoda cutiei de test, ar fi trebuit să calculăm volumul trunchiului de con, pe care l-am fi adăugat la volumul cutiei respective. Rezultatul final depinde de precizia cu care măsurăm toate aceste dimensiuni.

Ar mai fi și alți parametri care pot fi măsurați, dar ce am prezentat aici e minimum necesar. Am încercat să fac materialul ăsta cât mai concis și comprehensibil. Bineînțeles că detaliile despre fiecare procedură, ecuație, grafic sau desen ar putea ocupa mai multe pagini. Înțelegerea și folosirea informațiilor prezentate aici presupune un anumit nivel de cunoștințe de bază de electronică, matematică și fizică cât și operarea diverselor aparate electronice.

Nota autorului:

Folosirea acestui material e numai pentru uz personal. Oricine dorește să folosească în scop comercial, informațiile, graficele, desenele sau ecuațiile prezentate aici trebuie să obțină avizul scris al autorului.

Autorul poate fi contactat la www.pgorcea@hotmail.com

Bibliografie:

Ray Alden, "Advanced Speaker Design", Revised First Edition, by Prompt Publications.

Vance Dickason, "The Loudspeaker Design Cookbook" Sixth Edition, by Audio Amateurs Press Publishers, Peterborough, New Hampshire.