

ETALONAREA MICROFOANELOR PRIN METODA RECIPROCIȚĂȚII

fiz. drd. Amalia POPESCU¹⁾, prof. dr. ing. Carmen IONESCU GOLOVANOV²⁾,
asist. univ. dr. Mircea BĂRBUCEANU³⁾

¹⁾ BRML-Institutul Național de Metrologie București, ROMÂNIA

²⁾ Universitatea Politehnica București, Facultatea de Electrotehnică, ROMÂNIA

³⁾ Universitatea din Pitești, Facultatea de Științe, ROMÂNIA

Abstract

This study presents an important method of laboratory capacitive microphones – the reciprocity method (primary calibration method). This one was professionally treated, with respect of international standards of the field and through the activity behalf of the 26th Technical Electro acoustical Comity, IEC - Working Group 5&8 - Microphones și Working Group 4 - Sound Level Meters.

1. INTRODUCERE

Metoda reciprociții a fost dezvoltată teoretic și realizată de autori în decursul câtorva ani, urmărindu-se două aspecte simultane: baza materială existentă și alinierea la standardele internaționale în ceea ce privește etalonarea dispozitivelor de măsurare acustică. Această metodă, în general, se aplică traductoarelor care au calitatea de a fi reciproce indiferent de condițiile spațiului acustic, în presiune sau în câmp liber.

După recomandările standardelor internaționale s-au realizat mai multe feluri de cuploare acustice între microfoanele-etalon și cele supuse procesului de etalonare (constând în determinarea sensibilității acestora), utilizând atât materiale diferite (cuplor metalic sau cuplor din material plastic) cât și combinații de materiale (părți de cuplor, denumite calibre, unele din aliaj metalic iar altele din material plastic). S-a constatat ca cea mai bună comportare s-a obținut pentru cuplorul format din materiale de naturi diferite.

2. COMPONENTA UNUI SISTEM DE ETALONARE

În cazul acestei metode nu intervin nici un fel de mărimi acustice, sensibilitatea microfoanelor obținându-se pornind de la mărimi de altă natură cum ar fi tensiune electrică, lungime, temperatură, presiune statică și altele.

Etalonarea prin metoda reciprociții se poate efectua numai dacă se utilizează traductoare reversibile. Microfonul condensator este un astfel de traductor; dacă se aplică la intrarea acustică a unui microfon condensator o presiune acustică, la ieșirea electrică se obține o tensiune electrică și invers, dacă la ieșirea electrică se aplică o tensiune electrică, la ieșirea acustică se obține o presiune acustică.

În general se utilizează 3 microfoane care se cuplează două câte două prin intermediul unui volum de aer închis într-o cavitate având dimensiuni mecanice controlate. Microfonul emițător produce o presiune acustică în cavitate care este măsurată cu microfonul receptor. Impedanța electrică de transfer, definită ca raportul dintre tensiunea de ieșire a microfonului receptor și curentul de intrare al microfonului emițător, este măsurată pentru fiecare din cele trei perechi de microfoane (1-2, 1-3 și 2-3).

Schema generală de cuplaj este prezentată în figura 1.

În figura 2 este prezentată schema generală (de principiu) a sistemului de etalonare ce a fost utilizat în etalonarea microfoanelor condensator, bazându-ne pe principiile metodei ce va fi descrisă în paragrafele următoare. Instalația permite determinarea curentului prin emițător măsurând tensiunea la bornele capacității (C) conectată în serie cu microfonul emițător. De aceea rezultatele obținute sunt exprimate în termeni de raport de tensiuni. După determinarea condițiilor de cuplare acustică și măsurarea a trei rapoarte de tensiuni, se poate calcula sensibilitatea fiecăruia dintre cele trei microfoane.

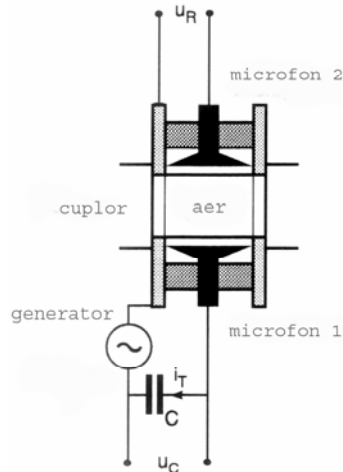


Fig. 1. Pereche de microfoane cuplate

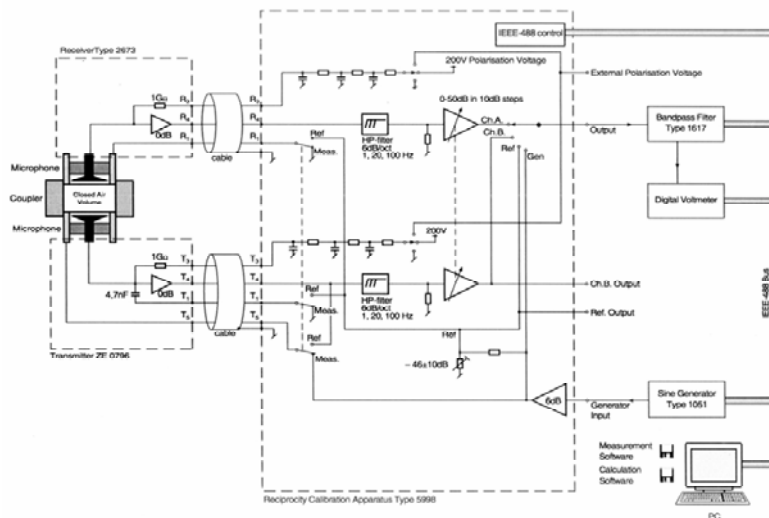


Fig. 2. Montaj pentru etalonarea prin metoda reciprocității

O problemă importantă ce apare este formarea undelor staționare în cuplor, ce limitează domeniul de frecvență la etalonarea prin metoda reciprocității. Acesta poate fi extins spre frecvențe înalte utilizând cavități de cuplare relativ mici. Efectul undelor staționare poate fi redus prin introducerea de gaze în cavitate, gaze care să permită propagarea cu viteză mare a sunetului (cum ar fi heliu sau hidrogen). Această metodă se utilizează doar în extrem de puține laboratoare întrucât necesită echipamente speciale.

O altă cale de a evita formarea undelor staționare este aceea de a utiliza cuploare pentru unde plane. Acestea nu elimină undele staționare dar asigură un model de undă în cavitate simplu și ușor de previzionat, care poate fi luat în considerare la calcularea sensibilităților. În cazul în care diametrul cuplorului este egal cu diametrul membranei

microfonului, în cuplor devin importante numai undele care se propagă pe direcția axială. Aceasta permite calcularea impedenței acustice de transfer a cuplorului utilizând expresii matematice valabile pentru liniile de transmisie.

Standardele internaționale specifică microfoanele etalon de laborator care sunt recomandate pentru etalonarea prin metoda reciprocității. Limitările pentru impedența membranei microfonului și dimensiunile cavității frontale fac parte dintre cerințele declarate. Microfoanele tip 4160 cu diametrul de 1 inch și 4180 cu diametrul de 1/2 inch întrunesc cerințele respective.

Sistemul de etalonare prin metoda reciprocității este alcătuit din 4 mari componente:

- unitate pentru etalonarea prin metoda reciprocității;
- generator sinusoidal;
- amplificator de măsură;
- set de filtre trece bandă pentru reducerea zgomotului electric de bandă largă și a zgomotului de fond acustic tip.

Unitatea pentru etalonarea microfoanelor prin metoda reciprocității conține cele două canale de măsurare pentru microfonul emițător și respectiv pentru microfonul receptor și furnizează tensiunea de polarizare de 200 V_{cc} care poate fi măsurată cu un voltmetru și reglată, dacă este cazul.

Unitatea pentru cuplarea microfoanelor emițător și receptor permite cuplarea mecanică și electrică a acestora. Baza dispozitivului se sprijină pe patru suporturi de cauciuc pentru amortizarea vibrațiilor și a zgomotului de impact.

3. PRINCIPIUL METODEI

La etalonarea microfoanelor-etalon de laborator se utilizează un grup de trei microfoane din care cel puțin două dintre ele trebuie să fie reciproce. Cele trei microfoane se cuplează două câte două prin intermediul unui cuplor. Utilizând un microfon ca emițător iar celălalt ca receptor se măsoară impedența electrică de transfer. Când se cunoaște impedența acustică de transfer a sistemului se poate determina produsul sensibilităților în presiune a celor două microfoane. Combinațiile de perechi de microfoane (1), (2) și (3) permit obținerea a trei produse independente de la care plecând se poate deduce expresia sensibilității în presiune pentru fiecare din cele trei microfoane. Considerând cele două microfoane cuplate se pot scrie ecuațiile rețelei cu două porturi:

$$z_{11}i + z_{12}q = u \quad z_{21}i + z_{22}q = p \quad (1)$$

unde: p - presiunea acustică aplicată uniform la bornele acustice ale microfonului (membrană); u - tensiunea la bornele electrice ale microfonului; q - fluxul de viteză care traversează bornele acustice (membrana) microfonului; i - curentul care traversează bornele electrice ale microfonului; $z_{11} = Z_e$ - impedența electrică a microfonului când membrana este blocată; $z_{22} = Z_a$ - impedența acustică a microfonului când acesta nu este încărcat electric; $z_{12} = z_{21} = M_p$ - impedența de transfer invers și direct, M_p - sensibilitatea în presiune a microfonului.

Ecuațiile (1) se pot scrie sub forma:

$$Z_e i + M_p Z_a q = u \quad M_p Z_a i + Z_a q = p \quad (1a)$$

care constituie ecuațiile de reciprocitate ale microfonului.

Dacă se realizează cuplaj acustic prin intermediul unui cuplor microfoane (x) și (y) ale căror sensibilități în presiune sunt $M_{p,x}$ și $M_{p,y}$, se obține produsul sensibilităților:

$$M_{p,x} \cdot M_{p,y} = \frac{1}{Z_{a,xy}} \frac{u_{R,y}}{i_{T,x}} \quad (2)$$

unde: $M_{p,x/y}$ sensibilitatea în presiune a microfonului x , respectiv y ; $u_{R,y}$ tensiunea de ieșire a microfonului receptor y ; $i_{T,x}$ curentul de intrare în microfonul emițător x ; $Z_{a,xy}$ impedanța acustică de transfer a cuplului cu microfoanele x și y .

Unitatea pentru etalonarea microfoanelor măsoară curentul prin emițător folosind un condensator în serie cu microfonul; avem pentru aceasta:

$$i_{T,x} = u_{C,x} \cdot j \cdot \omega \cdot C \quad (3)$$

unde: $u_{C,x}$ tensiunea prin condensator cu microfonul x emițător; ω frecvența unghiulară; C capacitatea condensatorului serie (j este unitatea imaginară $\sqrt{-1}$).

Produsul sensibilităților devine:

$$M_{p,x} \cdot M_{p,y} = \frac{1}{Z_{a,xy}} \cdot \frac{u_{R,y}}{u_{C,x} \cdot j \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{Z_{a,xy}} \cdot \frac{R_{xy}}{j \cdot \omega \cdot C} \quad (4)$$

unde

$$R_{xy} = \frac{u_{R,y}}{u_{C,x}} \quad (5)$$

Astfel, R_{xy} este raportul tensiunii măsurate cu microfoanele x și y .

Impedanța acustică de transfer se exprimă practic în termeni de volum acustic de transfer:

$$Z_{a,xy} = \frac{\kappa_{xy} \cdot P_{s,xy}}{j \cdot \omega \cdot V_{a,xy}} \quad (6)$$

unde: κ_{xy} raportul căldurilor specifice al cavității umplute cu gaz, prin care se cuplează microfoanele; $P_{s,xy}$ presiunea statică în timpul măsurării perechii de microfoane xy ; $V_{a,xy}$ volumul acustic de transfer.

Introducând relația (6) în (2) se obține produsul sensibilităților exprimat în termeni de volum acustic de transfer:

$$M_{p,x} \cdot M_{p,y} = \frac{V_{a,xy} \cdot R_{xy}}{\kappa_{xy} \cdot P_{s,xy} \cdot C} \quad (7)$$

Pentru etalonarea prin metoda reciprocității cu microfoanele (1), (2) și (3), se aplică următorul sistem de trei ecuații cu trei necunoscute:

$$M_{p,1} \cdot M_{p,2} = \frac{V_{a,12} \cdot R_{12}}{\kappa_{12} \cdot P_{s,12} \cdot C} \quad (8)$$

$$M_{p,1} \cdot M_{p,3} = \frac{V_{a,13} \cdot R_{13}}{\kappa_{13} \cdot P_{s,13} \cdot C} \quad (9)$$

$$M_{p,2} \cdot M_{p,3} = \frac{V_{a,23} \cdot R_{23}}{\kappa_{23} \cdot P_{s,23} \cdot C} \quad (10)$$

din care se pot obține cele trei sensibilități ale microfoanelor ($M_{p,1}$, $M_{p,2}$ și $M_{p,3}$):

$$(M_{p,1})^2 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}} \cdot \frac{V_{a,12} \cdot V_{a,13}}{V_{a,23}} \cdot \frac{P_{s,23}}{P_{s,12} \cdot P_{s,13}} \cdot \frac{\kappa_{23}}{\kappa_{12} \cdot \kappa_{13}} \cdot C^{-1} \quad (11)$$

$$(M_{p,2})^2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{13}} \cdot \frac{V_{a,12} \cdot V_{a,23}}{V_{a,13}} \cdot \frac{P_{s,13}}{P_{s,12} \cdot P_{s,23}} \cdot \frac{\kappa_{13}}{\kappa_{12} \cdot \kappa_{23}} \cdot C^{-1} \quad (12)$$

$$(M_{p,3})^2 = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12}} \cdot \frac{V_{a,13} \cdot V_{a,23}}{V_{a,12}} \cdot \frac{P_{s,12}}{P_{s,13} \cdot P_{s,23}} \cdot \frac{\kappa_{12}}{\kappa_{13} \cdot \kappa_{23}} \cdot C^{-1} \quad (13)$$

Volumul acustic de transfer poate fi exprimat în termeni de volum și de factor de corecție care țin seama de propagarea undelor în cuplor și de efectul conducției termice

prin suprafețele cavității de cuplare. Volumul constă în volumul geometric al cavității (incluzând volumele frontale ale microfoanelor) și volumele echivalente ale membranei la frecvența limită inferioară ale celor două microfoane:

$$V_{a,xy} = V_{0,xy} \cdot Cor_{HW,xy} \quad (14)$$

unde : $V_{0,xy}$ volumul cavității plus volumele echivalente la frecvențe joase ale membranei microfoanelor; $Cor_{HW,xy}$ factorul de corecție pentru conducția termică și pentru propagarea undelor în cuplor pentru perechea de microfoane xy .

Înlocuirea în ecuațiile (5.11), (5.12) și (5.13) conduce la următoarele expresii pentru sensibilitățile în presiune ale celor trei microfoane :

$$(M_{p,1})^2 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}} \cdot \frac{V_{0,12} \cdot V_{0,13}}{V_{0,23}} \cdot \frac{P_{s,23}}{P_{s,12} \cdot P_{s,13}} \cdot \frac{\kappa_{23}}{\kappa_{12} \cdot \kappa_{13}} \cdot \frac{Cor_{HW,12} \cdot Cor_{HW,13}}{Cor_{HW,23}} \cdot C^{-1} \quad (15)$$

$$(M_{p,2})^2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{13}} \cdot \frac{V_{0,12} \cdot V_{0,23}}{V_{0,13}} \cdot \frac{P_{s,13}}{P_{s,12} \cdot P_{s,23}} \cdot \frac{\kappa_{13}}{\kappa_{12} \cdot \kappa_{23}} \cdot \frac{Cor_{HW,12} \cdot Cor_{HW,23}}{Cor_{HW,13}} \cdot C^{-1} \quad (16)$$

$$(M_{p,3})^2 = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12}} \cdot \frac{V_{0,13} \cdot V_{0,23}}{V_{0,12}} \cdot \frac{P_{s,12}}{P_{s,13} \cdot P_{s,23}} \cdot \frac{\kappa_{12}}{\kappa_{13} \cdot \kappa_{23}} \cdot \frac{Cor_{HW,13} \cdot Cor_{HW,23}}{Cor_{HW,12}} \cdot C^{-1} \quad (17)$$

4. METODĂ PRACTICĂ DE CALCUL AL SENSIBILITĂȚII

Expresiile de mai sus pentru sensibilitățile în presiune sunt dificil de utilizat în cazul etalonării manuale și pot fi simplificate dacă se consideră că impedanța membranelor microfoanelor este aceeași și condițiile de mediu sunt stabile pe durata măsurărilor. Cel mai adesea aceste considerații pot fi făcute cu o creștere nesemnificativă a incertitudinii rezultante. Considerațiile de mai sus implică următoarele:

$$Cor_{HW,12} \cong Cor_{HW,13} \cong Cor_{HW,23} \cong Cor_{HW} \quad P_{s,12} \cong P_{s,13} \cong P_{s,23} \cong P_s \quad \kappa_{12} \cong \kappa_{13} \cong \kappa_{23} \cong \kappa$$

Aceasta conduce la simplificarea ecuațiilor (15 - 17) în care s-au introdus valorile nominale pentru presiunea statică, capacitatea serie și volum.

$$(M_{p,1})^2 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}} \cdot \frac{V_{0,12} \cdot V_{0,13}}{V_{0,23} \cdot V_{0,nom}} \cdot \frac{P_{s,nom}}{P_s} \cdot \frac{C_{nom}}{C} \cdot \frac{V_{0,nom} \cdot Cor_{HW}}{C_{nom} \cdot \kappa \cdot P_{s,nom}} \quad (18)$$

$$(M_{p,2})^2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{13}} \cdot \frac{V_{0,12} \cdot V_{0,23}}{V_{0,13} \cdot V_{0,nom}} \cdot \frac{P_{s,nom}}{P_s} \cdot \frac{C_{nom}}{C} \cdot \frac{V_{0,nom} \cdot Cor_{HW}}{C_{nom} \cdot \kappa \cdot P_{s,nom}} \quad (19)$$

$$(M_{p,3})^2 = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12}} \cdot \frac{V_{0,13} \cdot V_{0,23}}{V_{0,12} \cdot V_{0,nom}} \cdot \frac{P_{s,nom}}{P_s} \cdot \frac{C_{nom}}{C} \cdot \frac{V_{0,nom} \cdot Cor_{HW}}{C_{nom} \cdot \kappa \cdot P_{s,nom}} \quad (20)$$

Ecuațiile de mai sus pot fi scrise prin introducerea unor parametri care țin seama de raportul tensiunilor, presiunea statică și capacitatea serie astfel încât sensibilitatea devine un produs format din cinci factori, fiecare dintre aceștia trebuind să fie determinat înainte de începerea calculului. În ecuațiile pentru calculul sensibilității microfoanelor s-a introdus și valoarea sensibilității de referință dependentă de frecvență :

$$M_{p,1} = Cor_{R,1} \cdot Cor_{V,1} \cdot Cor_{Ps} \cdot Cor_C \cdot S_{ref}(f) \quad (21)$$

$$M_{p,2} = Cor_{R,2} \cdot Cor_{V,2} \cdot Cor_{Ps} \cdot Cor_C \cdot S_{ref}(f) \quad (22)$$

$$M_{p,3} = Cor_{R,3} \cdot Cor_{V,3} \cdot Cor_{Ps} \cdot Cor_C \cdot S_{ref}(f) \quad (23)$$

$Cor_{R,1}$, $Cor_{R,2}$ și $Cor_{R,3}$ sunt corecțiile rapoartelor de tensiune pentru microfoanele (1), (2) și (3), iar $Cor_{V,1}$, $Cor_{V,2}$ și $Cor_{V,3}$ sunt corecțiile cu volumul; acestea pot fi luate ca fiind egale cu 1 (0 dB). Cor_{Ps} este corecția cu presiunea statică; aceasta este calculată pornind

de la presiunea statică măsurată și presiunea statică nominală (101,325 kPa). $S_{ref}(f)$ este sensibilitatea de referință care variază în funcție de frecvență și care este definită pentru o combinație specificată *cuplor - tip de microfon*.

Sensibilitatea microfoanelor, exprimată în decibeli, se calculează utilizând relația:

$$M_{p,n} = Cor_{R,n} + Cor_{CV} + Cor_{Ps} + Cor_C + S_{ref} \quad \text{în dB ref. } 1V/Pa \quad (24)$$

Fiecare corecție urmează a fi descrisă în cele ce urmează.

5. CORECȚIA RAPORTULUI TENSIUNILOR, $Cor_{R,n}$ [dB]

Calculul pentru metoda reciprocității implică un set de 3 microfoane și respectiv determinarea a trei rapoarte de tensiuni. Raportul tensiunilor este determinat pentru fiecare dintre cele trei perechi de microfoane. Rapoartele de tensiune sunt astfel folosite la calcularea corecției pentru raportul tensiunilor, $Cor_{R,n}$.

Raportul tensiunilor (R_{xy}) este valabil pentru perechea de microfoane, xy, și se determină măsurând patru tensiuni (u_a, u_b, u_c, u_d). Cele patru tensiuni sunt :

- tensiunea de ieșire a canalului receptor (u_a)
- tensiunea de ieșire a canalului emițător (u_b)
- tensiunea de referință a canalului receptor (u_c)
- tensiunea de referință a canalului emițător (u_d)

Tensiunile se măsoară în dB raportat la tensiunea de referință u_{ref} , după următoarele relații:

$$R_{12}[dB] = \left(\frac{u_a}{u_{ref}} \right)_{12} [dB] - \left(\frac{u_b}{u_{ref}} \right)_{12} [dB] - \left(\frac{u_c}{u_{ref}} \right)_{12} [dB] + \left(\frac{u_d}{u_{ref}} \right)_{12} [dB] \quad (26)$$

$$R_{13}[dB] = \left(\frac{u_a}{u_{ref}} \right)_{13} [dB] - \left(\frac{u_b}{u_{ref}} \right)_{13} [dB] - \left(\frac{u_c}{u_{ref}} \right)_{13} [dB] + \left(\frac{u_d}{u_{ref}} \right)_{13} [dB] \quad (27)$$

$$R_{23}[dB] = \left(\frac{u_a}{u_{ref}} \right)_{23} [dB] - \left(\frac{u_b}{u_{ref}} \right)_{23} [dB] - \left(\frac{u_c}{u_{ref}} \right)_{23} [dB] + \left(\frac{u_d}{u_{ref}} \right)_{23} [dB] \quad (28)$$

Tensiunea de referință (u_{ref}) este în mod obișnuit 1 V.

Dacă cele patru tensiuni (u_a, u_b, u_c, u_d) se măsoară în volți, atunci se utilizează următoarele relații pentru calculul raportului tensiunilor în decibeli:

$$R_{12}[dB] = 20 \log \left(\frac{u_a \cdot u_d}{u_b \cdot u_c} \right)_{12} \quad (29)$$

$$R_{13}[dB] = 20 \log \left(\frac{u_a \cdot u_d}{u_b \cdot u_c} \right)_{13} \quad (30)$$

$$R_{23}[dB] = 20 \log \left(\frac{u_a \cdot u_d}{u_b \cdot u_c} \right)_{23} \quad (31)$$

Fiecare corecție a raportului de tensiune este valabilă pentru un anumit microfon și se calculează pornind de la raportul tensiunilor după cum urmează :

$$Cor_{R,1} = (R_{12}[dB] + R_{13}[dB] - R_{23}[dB])/2 \quad (32)$$

$$Cor_{R,2} = (R_{12}[dB] + R_{23}[dB] - R_{13}[dB])/2 \quad (33)$$

$$Cor_{R,3} = (R_{13}[dB] + R_{23}[dB] - R_{12}[dB])/2 \quad (34)$$

6. CORECȚIA VOLUMULUI CUPLORULUI, Cor_{CV} [dB]

Calculul sensibilității se bazează pe volumul nominal al cuplorului. Corecția poate fi aplicată pentru abaterea volumului cuplorului real față de volumul nominal și se determină cu relația :

$$Cor_{CV} [dB] = 10 \log \left(\frac{2 \cdot V_{mic} [nom] + V_{cuplor}}{2 \cdot V_{mic} [nom] + V_{cuplor} [nom]} \right) \quad (35)$$

unde: $V_{mic} [nom]$ suma volumului nominal al cavității frontale și volumul nominal echivalent al membranei pentru tipul de microfon ce urmează a fi etalonat; $V_{cuplor} [nom]$ volumul nominal al cavității corespunzător tipului de cuplor utilizat; V_{cuplor} volumul cavității corespunzător cuplorului utilizat.

Corecția volumului cuplorului depinde de tipul de microfon și de tipul de cuplor utilizat. Pentru majoritatea microfoanelor etalon de laborator (tipurile 4160 și 4180) corecția volumului cuplorului este mică ($< 0,006$ dB (2σ)) valabilă pentru cele mai mici și mai critice cuploare) valoarea ei nominală fiind egală cu 0 dB, din care cauză poate fi neglijată. Totuși, în cazul etalonărilor de foarte mare exactitate, dimensiunile individuale ale cuplorului trebuie măsurate și trebuie calculată corecția volumului cuplorului Cor_{CV} .

$$Cor_{Ps} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{s,nom}}{P_s} \right) [dB] \quad \text{sau} \quad Cor_{Ps} = 10 \cdot \log \left(\frac{101,325}{P_s} \right) [dB] \quad (36)$$

7. CORECȚIA PRESIUNII STATICE, Cor_{Ps} [dB]

$P_{s,nom}$ este întotdeauna 101,325 kPa pentru aerul atmosferic, iar P_s presiunea statică determinată în timpul măsurării.

$$Cor_C = 10 \cdot \log \left(\frac{C_{nom}}{C} \right) [dB] \quad \text{sau} \quad Cor_C = 10 \cdot \log \left(\frac{4,7}{C} \right) [dB] \quad (37)$$

8. CORECȚIA CAPACITĂȚII, Cor_C [dB]

C_{nom} este întotdeauna 4,7 nF, iar C este capacitatea condensatorului de referință din unitatea emițătoare a cărei valoare este dată în diagrama de calibrare.

9. SENSIBILITATEA DE REFERINȚĂ, S_{ref} [dB]

Sensibilitatea de referință trebuie determinată pentru fiecare frecvență. Aceasta depinde de tipul de microfon și de tipul de cuplor care este utilizat.

$$S_{ref}(f) = \sqrt{\frac{V_{o,nom} \cdot Cor_{HW}}{C_{nom} \cdot \kappa \cdot P_{s,nom}}} \quad (38)$$

Pentru ușurința calculului, valoarea sensibilității de referință S_{ref} la diferite frecvențe (prezentate în pași liniari sau logaritmi) a fost calculată și introdusă în tabele sub formă de S_{tabel} . Trebuie specificat că presiunea statică, temperatura, umiditatea relativă și dimensiunile mecanice se consideră pentru condiții de referință și lor le corespund coeficienții respectivi.

$$S_{ref} = S_{tabel} + C_p + C_T + C_{RH} + C_L \quad [dB] \quad (39)$$

10. REZULTATE EXPERIMENTALE

Frecvența (Hz)	MP - B&K dB	MP - BEV dB	MP - INM dB
19.95	-39,120	-39,120	-39,120
63.10	-39,120	-39,120	-39,120
251.19	-39,120	-39,120	-39,120
1000.00	-39,120	-39,120	-39,120
1584.89	-39,120	-39,120	-39,120
2511.89	-39,100	-39,100	-39,100
3981.07	-39,050	-39,050	-39,050
6309.57	-38,950	-38,950	-38,950
10000.00	-38,750	-38,750	-38,750
15848.93	-38,200	-38,200	-38,200
15848.93	-39,150	-39,150	-39,150

- [1] Frederiksen, E. and Christensen, J.- Pressure Reciprocity Calibration – Instruments, Results and Uncertainty, Brüel&Kjaer *Technical Review* No. 1, 1998
- [2] Bruel, V. P. - The Accuracy of Condenser Microphones Calibration Methods. Part I and Part II, *Technical review*, 1-2/1959
- [3] EAL-R2- Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1997
- [4] Frederiksen, E. – Primary and Secondary Microphone Calibration and Associated Uncertainty, Brüel&Kjaer and Danish Primary Laboratory of Acoustics (DPLA), 2002
- [5] IEC 1094-1/92 - Measurement microphones. Part 1: Specification for laboratory standard microphones
- [6] IEC 1094-2/92 - Measurement microphones. Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
- [7] Rasmussen. – Radial Wave-Motion in Cylindrical Plane-Wave Couplers, *Acta Acustica*, 1993, 1
- [8] Rasmussen, K. – The Static Pressure and temperature Coefficients of Laboratory Standard Microphones, *Metrologia*, 1999, 36
- [9] SR 13434 - Ghid pentru evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare
- [10] Reciprocity Calibration System Type 9699, Brüel&Kjaer

- asist. univ. dr. **Mircea BĂRBUCEANU**, Catedra de Chimie-Fizică a Facultății de Științe, Universitatea din Pitești, str. Târgul din Vale, nr. 1, 110040, ROMANIA, tel. 0248218477, fax 0248216448, e-mail mircea_barbuceanu@yahoo.com;
- fizician CPII **Amalia POPESCU**, BRML-Institutul Național de Metrologie București, Șos. Vitan Bârzești nr. 11, 042122, ROMANIA, e-mail: amalia_popescu@yahoo.com;
- prof. univ. dr. ing. **Carmen IONESCU GOLOVANOV**, Facultatea de Electrotehnică, Universitatea Politehnica București, ROMANIA