

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1094-2**

Première édition
First edition
1992-03

Microphones de mesure

Partie 2:

Méthode primaire pour l'étalonnage en pression
des microphones étalons de laboratoire par
la méthode de réciprocité

Measurement microphones

Part 2:

Primary method for pressure calibration of
laboratory standard microphones by
the reciprocity technique



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1094-2: 1992

AVA Documents
Document Sharing Hub

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1094-2**

Première édition
First edition
1992-03

Microphones de mesure

Partie 2:

Méthode primaire pour l'étalonnage en pression
des microphones étalons de laboratoire par
la méthode de réciprocité

Measurement microphones

Part 2:

Primary method for pressure calibration of
laboratory standard microphones by
the reciprocity technique

© CEI 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé,
électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les
microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized
in any form or by any means, electronic or mechanical,
including photocopying and microfilm, without permission
in writing from the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

AVA Documents
Document Sharing Hub

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	8
3.1 microphone réciproque	8
3.2 argument de l'efficacité en pression d'un microphone	8
3.3 impédance électrique de transfert	10
3.4 impédance acoustique de transfert	10
3.5 coupleur	10
4 Conditions ambiantes de référence	10
5 Principe de l'étalonnage en pression par réciprocité	10
5.1 Principe général	10
5.1.1 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones	10
5.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire	12
5.2 Expressions de base	12
5.3 Technique de la tension insérée	14
5.4 Evaluation de l'impédance acoustique de transfert	14
5.5 Correction de conduction thermique	18
5.6 Correction de tube capillaire	18
5.7 Expressions finales de l'efficacité en pression	20
5.7.1 Méthode utilisant trois microphones	20
5.7.2 Méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire	20
6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression	22
6.1 Généralités	22
6.2 Tension de polarisation	22
6.3 Configuration de référence du blindage	22
6.4 Distribution de la pression sur la membrane	22
6.5 Influence des conditions d'environnement	24
6.5.1 Pression statique	24
6.5.2 Température du microphone	24
6.5.3 Humidité	24
6.5.4 Conditions atmosphériques	26
7 Incertitude d'étalonnage	26
7.1 Généralités	26
7.2 Impédance électrique de transfert	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
3.1 reciprocal microphone	9
3.2 phase angle of pressure sensitivity of a microphone	9
3.3 electrical transfer impedance	11
3.4 acoustic transfer impedance	11
3.5 coupler	11
4 Reference environmental conditions	11
5. Principles of pressure calibration by reciprocity	11
5.1 General principle	11
5.1.1 General principles using three microphones	11
5.1.2 General principles using two microphones and an auxiliary sound source	13
5.2 Basic expressions	13
5.3 Insert voltage technique	15
5.4 Evaluation of the acoustic transfer impedance	15
5.5 Heat-conduction correction	19
5.6 Capillary tube correction	19
5.7 Final expressions for the pressure sensitivity	21
5.7.1 Method using three microphones	21
5.7.2 Method using two microphones and an auxiliary sound source	21
6 Factors influencing the pressure sensitivity	23
6.1 General	23
6.2 Polarizing voltage	23
6.3 Ground shield reference configuration	23
6.4 Pressure distribution over the diaphragm	23
6.5 Dependence on environmental conditions	25
6.5.1 Static pressure	25
6.5.2 Temperature of microphone	25
6.5.3 Humidity	25
6.5.4 Atmospheric conditions	27
7 Calibration uncertainty components	27
7.1 General	27
7.2 Electrical transfer impedance	27

Articles	Pages
7.3 Impédance acoustique de transfert	26
7.3.1 Généralités	26
7.3.2 Dimensions des coupleurs	26
7.3.3 Cavité frontale	28
7.3.4 Impédance acoustique	30
7.3.5 Grandeurs physiques	30
7.3.6 Conditions d'environnement	30
7.3.7 Facteurs correctifs	30
7.4 Tension de polarisation	30
7.5 Incertitude sur le niveau d'efficacité en pression	32
 ANNEXES	
A Conduction thermique dans une cavité close	34
B Impédance acoustique d'un tube capillaire	38
C Exemples de coupleurs cylindriques pour l'étalonnage des microphones	44
C.1 Coupleurs en ondes planes	44
C.2 Coupleurs de grands volumes	46
D Influence de l'environnement sur l'efficacité des microphones	52
D.1 Généralités	52
D.2 Influence de la pression statique	52
D.3 Influence de la température	54
E Méthodes de détermination des paramètres des microphones	58
E.1 Profondeur de la cavité frontale	58
E.2 Volume de la cavité frontale et volume équivalent	58
E.3 Impédance acoustique du microphone	60
F Grandeurs physiques	62

Clause	Page
7.3 Acoustic transfer impedance	27
7.3.1 General	27
7.3.2 Coupler dimensions	27
7.3.3 Front cavity	29
7.3.4 Acoustic impedance	31
7.3.5 Physical quantities	31
7.3.6 Environmental conditions	31
7.3.7 Correction factors	31
7.4 Polarizing voltage	31
7.5 Uncertainty on pressure sensitivity level	33
ANNEXES	
A Heat conduction in a closed cavity	35
B Acoustic impedance of a capillary tube	39
C Examples of cylindrical couplers for calibration of microphones	45
C.1 Plane-wave couplers	45
C.2 Large-volume couplers	47
D Environmental influence on the sensitivity of microphones	53
D.1 General	53
D.2 Dependence on static pressure	53
D.3 Dependence on temperature	55
E Methods for determining microphone parameters	59
E.1 Front cavity depth	59
E.2 Front cavity volume and equivalent volume	59
E.3 Acoustic impedance of the microphone	61
F Physical quantities	63

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MICROPHONES DE MESURE

Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente partie de la Norme internationale CEI 1094 a été établie par le Comité d'Etudes n° 29 de la CEI: Electroacoustique.

Le texte de cette partie est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
29(BC)159	29(BC)164

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette partie.

Les annexes A et B sont partie intégrante de la présente partie.

Les annexes C, D, E et F sont informatives.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT MICROPHONES

**Part 2: Primary method for pressure calibration
of laboratory standard microphones
by the reciprocity technique**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This part of International Standard IEC 1094 has been prepared by IEC Technical Committee No. 29: Electroacoustics.

The text of this part is based on the following documents:

DIS	Report on Voting
29(CO)159	29(CO)164

Full information on the voting for the approval of this part can be found in the Voting Report indicated in the above table.

Annexes A and B form an integral part of this standard.

Annexes C, D, E and F are for information only.

MICROPHONES DE MESURE

Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 1094

- est applicable aux microphones étalons de laboratoire répondant aux prescriptions de la CEI 1094-1 et aux autres types de microphones à condensateur présentant les mêmes dimensions mécaniques;

- spécifie une méthode primaire de détermination de l'efficacité en pression de manière à établir une base reproductible et exacte pour la mesure de la pression acoustique.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 1094. Au moment de la publication de cette partie, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 1094 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des normes internationales en vigueur:

CEI 27-2: 1972, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique - Deuxième partie : Télécommunications et électronique.*

CEI 1094-1: 1992, *Microphones de mesure - Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire.*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 1094, les définitions suivantes s'appliquent en plus des définitions données dans la CEI 1094-1:

3.1 microphone réciproque: Microphone linéaire passif pour lequel l'impédance de transfert inverse, entrée en circuit ouvert et l'impédance de transfert direct, sortie en circuit ouvert (voir 206 de la CEI 27-2) sont égales en valeur absolue.

3.2 argument de l'efficacité en pression d'un microphone: Pour une fréquence donnée, angle de phase entre la tension à circuit ouvert et la pression acoustique uniforme agissant sur la membrane.

Unité: degré ou radian (° ou rad).

MEASUREMENT MICROPHONES

Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique

1 Scope

This part of IEC 1094

- is applicable to laboratory standard microphones meeting the requirements of IEC 1094-1 and other types of condenser microphones having the same mechanical dimensions;
- specifies a primary method of determining the pressure sensitivity so as to establish a reproducible and accurate basis for the measurement of sound pressure.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 1094. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 1094 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents listed below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 27: 1972, *Letter symbols to be used in electrical technology - Part 2: Telecommunications and electronics*.

IEC 1094-1: 1991, *Measurement microphones - Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*.

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 1094, the following definitions apply in addition to the definitions given in IEC 1094-1.

3.1 reciprocal microphone: A linear passive microphone for which the open-circuit reverse and forward transfer impedances (see 206 in IEC 27-2) are equal in magnitude.

3.2 phase angle of pressure sensitivity of a microphone: For a given frequency, the phase angle between the open-circuit voltage and the uniform sound pressure acting on the diaphragm.

Unit: degree or radian ($^{\circ}$ or rad).

3.3 impédance électrique de transfert: Pour un système formé de deux microphones couplés acoustiquement, quotient de la tension à circuit ouvert du microphone utilisé en récepteur par le courant traversant le microphone utilisé en émetteur.

Unité: ohm (Ω).

NOTE - Cette impédance est définie pour la configuration de référence du blindage donnée en 7.2 de la CEI 1094-1.

3.4 impédance acoustique de transfert: Pour un système formé de deux microphones couplés acoustiquement, quotient de la pression acoustique agissant sur la membrane du microphone utilisé en récepteur par le flux de vitesse en court-circuit produit par le microphone utilisé en émetteur.

Unité: pascal·seconde par mètre cube ($\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$).

3.5 coupleur: Dispositif qui, adapté aux microphones, constitue une cavité de forme et dimensions déterminées agissant comme élément de couplage acoustique entre les deux microphones.

4 Conditions ambiantes de référence

Les conditions ambiantes de référence sont:

Température:	t_r	= 23,0 °C
Pression statique:	$p_{s,r}$	= 101,325 kPa
Taux d'humidité relative:	H_r	= 50 %

NOTE - La température de référence est choisie égale à 23,0 °C en raison de considérations pratiques qui entraînent que la plupart des étalonnages sont effectués à cette température ou à son voisinage.

5 Principe de l'étalonnage en pression par réciprocité

5.1 Principe général

Un étalonnage de microphones par réciprocité peut être effectué au moyen de trois microphones, deux d'entre eux devant être réciproques, ou au moyen d'une source sonore auxiliaire et de deux microphones, l'un d'eux devant être réciproque.

NOTE - Si l'un des microphones n'est pas réciproque, il ne peut être utilisé que comme récepteur acoustique.

5.1.1 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones

Considérons deux microphones couplés acoustiquement au moyen d'un coupleur. En utilisant l'un d'entre eux comme source sonore et l'autre comme récepteur, on mesure l'impédance électrique de transfert. Quand l'impédance acoustique de transfert du système est connue, le produit des efficacités en pression des deux microphones couplés peut être déterminé. En effectuant des combinaisons des microphones (1), (2) et (3) deux à deux, on obtient trois produits mutuellement indépendants, à partir desquels on peut déduire l'expression de l'efficacité en pression pour chacun des trois microphones.

3.3 electrical transfer impedance: For a system of two acoustically coupled microphones the quotient of the open-circuit voltage of the microphone used as a receiver by the input current through the electrical terminals of the microphone used as a transmitter.

Unit: ohm (Ω).

NOTE - This impedance is defined for the ground-shield configuration given in 7.2 of IEC 1094-1.

3.4 acoustic transfer impedance: For a system of two acoustically coupled microphones the quotient of the sound pressure acting on the diaphragm of the microphone used as a receiver by the short-circuit volume velocity produced by the microphone used as a transmitter.

Unit: pascal·second per cubic metre ($\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$).

3.5 coupler: A device which, when fitted with microphones, forms a cavity of predetermined shape and dimensions acting as an acoustic coupling element between the microphones.

4 Reference environmental conditions

The reference environmental conditions are:

Temperature:	t_r	= 23,0 °C
Static pressure:	$p_{s,r}$	= 101,325 kPa
Relative humidity:	H_r	= 50 %

NOTE - The reference temperature is chosen to be 23,0 °C because practical considerations require that most calibrations be carried out at, or near, this temperature.

5 Principles of pressure calibration by reciprocity

5.1 General principle

A reciprocity calibration of microphones may be carried out by means of three microphones, two of which shall be reciprocal, or by means of an auxiliary sound source and two microphones, one of which must be reciprocal.

NOTE - If one of the microphones is not reciprocal it can only be used as a sound receiver.

5.1.1 General principles using three microphones

Let two of the microphones be connected acoustically by a coupler. Using one of them as a sound source and the other as a sound receiver, the electrical transfer impedance is measured. When the acoustic transfer impedance of the system is known, the product of the pressure sensitivities of the two coupled microphones can be determined. Using pair-wise combinations of microphones (1), (2) and (3), three such mutually independent products are available, from which an expression for the pressure sensitivity of each of the three microphones can be derived.

5.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire

Dans un premier temps, les deux microphones sont couplés acoustiquement par un coupleur et le produit des efficacités en pression des deux microphones est déterminé (voir 5.1.1). Ensuite, les deux microphones sont soumis à la même pression acoustique produite par la source sonore auxiliaire. Le rapport des deux tensions de sortie est alors égal au rapport des efficacités en pression. Ainsi, à partir du produit et du rapport des efficacités en pression des deux microphones, on peut déduire une expression de l'efficacité en pression de chacun d'eux.

NOTE - Pour obtenir le rapport des efficacités en pression, une méthode de comparaison directe peut être utilisée et la source sonore auxiliaire peut être un troisième microphone de caractéristiques mécaniques ou acoustiques différentes de celles des microphones étalonnés.

5.2 Expressions de base

Les microphones étalons de laboratoire et les microphones similaires sont considérés comme réciproques. Dans ces conditions, les équations du réseau électroacoustique à deux accès formé par les microphones peuvent s'écrire sous la forme:

$$\begin{aligned} z_{11} i + z_{12} q &= U \\ z_{21} i + z_{22} q &= p \end{aligned} \quad (1)$$

où

p est la pression acoustique uniformément appliquée aux bornes acoustiques (membrane) du microphone;

U est la tension aux bornes électriques du microphone;

q est le flux de vitesse à travers les bornes acoustiques (membrane) du microphone;

i est le courant à travers les bornes électriques du microphone;

$z_{11} = Z_e$ est l'impédance électrique du microphone quand la membrane est bloquée;

$z_{22} = Z_a$ est l'impédance acoustique du microphone quand il n'est pas chargé électriquement;

$z_{12} = z_{21} = \underline{M}_p \underline{Z}_a$ est égale aux impédances de transferts inverse et directe, $\underline{M}_p$ étant l'efficacité en pression du microphone.

Les équations (1) peuvent être réécrites sous la forme:

$$\begin{aligned} Z_e i + \underline{M}_p Z_a q &= U \\ \underline{M}_p Z_a i + Z_a q &= p \end{aligned} \quad (1a)$$

qui constituent les équations de réciprocité du microphone.

On couple acoustiquement à l'aide d'un coupleur les microphones (1) et (2) dont les efficacités en pression sont $\underline{M}_{p,1}$ et $\underline{M}_{p,2}$. A partir des équations (1a) on voit qu'un courant i_1 traversant le microphone (1) produit un flux de vitesse en court-circuit acoustique ($p=0$ sur la membrane) égal à $\underline{M}_{p,1} i_1$ et donc une pression acoustique $p_2 = \underline{Z}_{a,12} \underline{M}_{p,1} i_1$ aux bornes acoustiques du microphone (2), où $\underline{Z}_{a,12}$ est l'impédance acoustique de transfert du système.

5.1.2 General principles using two microphones and an auxiliary sound source

First, let the two microphones be connected acoustically by a coupler, and the product of the pressure sensitivities of the two microphones be determined, see 5.1.1. Next, let the two microphones be presented to the same sound pressure, set up by the auxiliary sound source. The ratio of the two output voltages will then equal the ratio of the two pressure sensitivities. Thus, from the product and the ratio of the pressure sensitivities of the two microphones, an expression for the pressure sensitivity of each of the two microphones can be derived.

NOTE - In order to obtain the ratio of pressure sensitivities, a direct comparison method may be used, and the auxiliary sound source may be a third microphone having mechanical or acoustical characteristics which differ from those of the microphones being calibrated.

5.2 Basic expressions

Laboratory standard microphones and similar microphones are considered reciprocal and thus the two-port equations of the microphones can be written as:

$$\begin{aligned} z_{11} i + z_{12} q &= U \\ z_{21} i + z_{22} q &= p \end{aligned} \quad (1)$$

where

p is the sound pressure, uniformly applied, at the acoustical terminals (diaphragm) of the microphone;

U is the signal voltage at the electrical terminals of the microphone;

q is the volume velocity through the acoustical terminals (diaphragm) of the microphone;

i is the current through the electrical terminals of the microphone;

$z_{11} = Z_e$ is the electrical impedance of the microphone when the diaphragm is blocked;

$z_{22} = Z_a$ is the acoustic impedance of the microphone when the electrical terminals are unloaded;

$z_{12} = z_{21} = M_p Z_a$ is equal to the reverse and forward transfer impedances, M_p being the pressure sensitivity of the microphone.

Equations (1) may then be rewritten as:

$$\begin{aligned} Z_e i + M_p Z_a q &= U \\ M_p Z_a i + Z_a q &= p \end{aligned} \quad (1a)$$

which constitute the equations of reciprocity for the microphone.

Let microphones (1) and (2) with the pressure sensitivities $M_{p,1}$ and $M_{p,2}$ be connected acoustically by a coupler. From equations (1a) it is seen that a current i_1 through the electrical terminals of microphone (1) will produce a short-circuit volume velocity ($p=0$ at the diaphragm) of $M_{p,1} i_1$ and thus a sound pressure $p_2 = Z_{a,12} M_{p,1} i_1$ at the acoustical terminals of microphone (2), where $Z_{a,12}$ is the acoustic transfer impedance of the system.

La tension à circuit ouvert du microphone (2) sera alors:

$$U_2 = M_{p,2} p_2 = M_{p,1} M_{p,2} Z_{a,12} i_1$$

Ainsi le produit des efficacités en pression est donné par:

$$\frac{M_{p,1}}{Z_{a,12}} \frac{M_{p,2}}{i_1} = \frac{1}{Z_{a,12}} \frac{U_2}{i_1} \quad (2)$$

5.3 Technique de la tension insérée

La technique de la tension insérée est utilisée pour déterminer la tension à circuit ouvert d'un microphone quand il est chargé électriquement.

Considérons un microphone ayant une tension à circuit ouvert et une impédance interne données, fermé sur une impédance de charge. Pour mesurer sa tension à circuit ouvert, une impédance, petite par rapport à l'impédance de charge, est connectée en série avec le microphone et une tension d'étalonnage est appliquée à ses bornes.

On applique alternativement la tension d'étalonnage et une pression acoustique de même fréquence. On ajuste la tension d'étalonnage de façon qu'elle produise la même chute de tension aux bornes de l'impédance de charge que la pression acoustique, la tension à circuit ouvert est alors égale en module à la tension d'étalonnage.

5.4 Evaluation de l'impédance acoustique de transfert

L'impédance acoustique de transfert $Z_{a,12} = p_2 / (M_{p,1} i_1)$ peut être évaluée à partir du circuit équivalent de la figure 1 où $Z_{a,1}$ et $Z_{a,2}$ sont respectivement les impédances acoustiques des microphones (1) et (2).

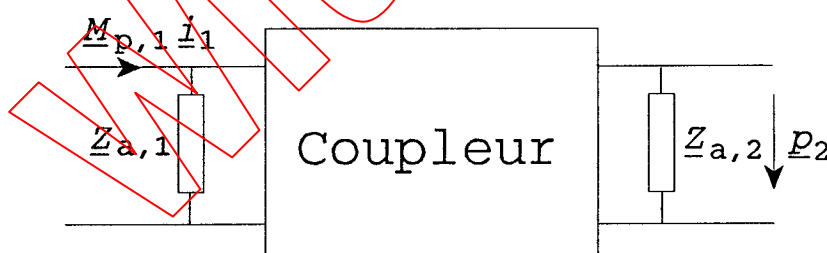


Figure 1 - Circuit équivalent pour évaluer l'impédance acoustique de transfert $Z_{a,12}$

Dans plusieurs cas, $Z_{a,12}$ peut être évaluée théoriquement. Supposons que la pression acoustique soit la même en n'importe quel point de la cavité (cela est réalisé lorsque les dimensions mécaniques du coupleur sont très petites par rapport à la longueur d'onde). Le gaz dans le coupleur se comporte comme une élasticité pure et, à partir du circuit équivalent de la figure 2, $Z_{a,12}$ est donné par $Z_{a,12}$ (en supposant une compression et une expansion adiabatique du gaz):

The open-circuit voltage of microphone (2) will then be:

$$\underline{U}_2 = \underline{M}_{p,2} p_2 = \underline{M}_{p,1} \underline{M}_{p,2} \underline{Z}_{a,12} i_1$$

Thus the product of the pressure sensitivities is given by:

$$\underline{M}_{p,1} \underline{M}_{p,2} = \frac{1}{\underline{Z}_{a,12}} \frac{\underline{U}_2}{i_1} \quad (2)$$

5.3 Insert voltage technique

The insert voltage technique is used to determine the open-circuit voltage of a microphone when it is electrically loaded.

Let a microphone having a certain open-circuit voltage and internal impedance be connected to a load impedance. To measure the open-circuit voltage, an impedance, small compared to the load impedance, is connected in series to the microphone and a calibrating voltage applied across it.

Let a sound pressure and a calibrating voltage of the same frequency be applied alternately. When the calibrating voltage is adjusted until it gives the same voltage drop across the load impedance as results from the sound pressure on the microphone, the open-circuit voltage will be equal in magnitude to the calibrating voltage.

5.4 Evaluation of the acoustic transfer impedance

The acoustic transfer impedance $\underline{Z}_{a,12} = p_2 / (\underline{M}_{p,1} i_1)$ can be evaluated from the equivalent circuit in figure 1, where $\underline{Z}_{a,1}$ and $\underline{Z}_{a,2}$ are the acoustic impedances of microphones (1) and (2) respectively.

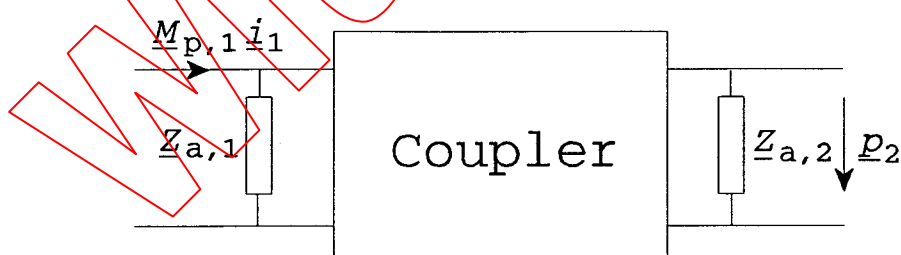


Figure 1 - Equivalent circuit for evaluating the acoustic transfer impedance $\underline{Z}_{a,12}$

In several cases, $\underline{Z}_{a,12}$ can be evaluated theoretically. Assume the sound pressure to be the same at any point inside the coupler (this will take place when the physical dimensions of the coupler are very small compared to the wavelength). The gas in the coupler then behaves as a pure compliance and, from the equivalent circuit in figure 2, $\underline{Z}_{a,12}$ is given by $\underline{Z}'_{a,12}$ (assuming adiabatic compression and expansion of the gas):

$$\frac{1}{Z'_{a,12}} = \frac{1}{Z_{a,V}} + \frac{1}{Z_{a,1}} + \frac{1}{Z_{a,2}} = j\omega \left(\frac{V}{\kappa p_s} + \frac{V_{e,1}}{\kappa_r p_{s,r}} + \frac{V_{e,2}}{\kappa_r p_{s,r}} \right) \quad (3)$$

où

V est le volume géométrique total du coupleur, m³;

$V_{e,1}$ est le volume équivalent du microphone (1), m³;

$V_{e,2}$ est le volume équivalent du microphone (2), m³;

$Z_{a,V} = \frac{\kappa p_s}{j\omega V}$ est l'impédance acoustique du gaz à l'intérieur du coupleur, Pa·s/m³;

ω est la pulsation, rad/s;

p_s est la pression statique, Pa;

κ est le rapport des capacités thermiques massiques dans les conditions de mesure;

κ_r est la valeur de κ dans les conditions de référence.

Des valeurs de κ et κ_r peuvent être déduites des équations données dans l'annexe F.

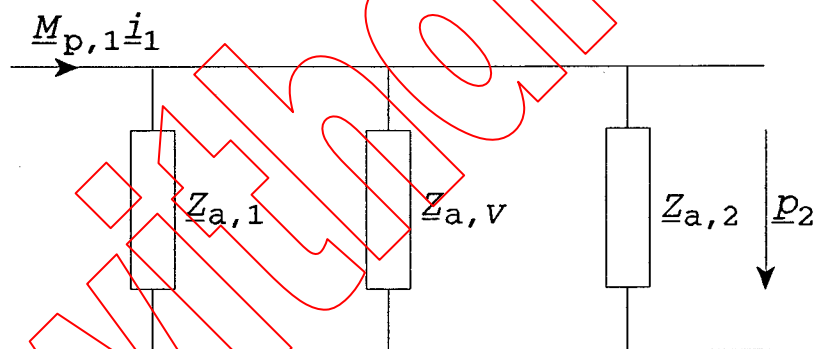


Figure 2 - Circuit équivalent pour évaluer $Z'_{a,12}$ quand les dimensions du coupleur sont petites par rapport à la longueur d'onde

Aux fréquences plus élevées, lorsque les dimensions ne sont plus suffisamment petites par rapport à la longueur d'onde, l'évaluation de $Z_{a,12}$ devient en général complexe. Toutefois, si le coupleur est de forme cylindrique et possède un diamètre égal à celui des membranes, on peut alors, aux fréquences où l'on peut admettre l'existence d'une transmission en ondes planes, considérer le système complet comme ligne de transmission homogène (voir figure 3); $Z_{a,12}$ est donné par $Z_{a,12}$ (en supposant une compression et une expansion adiabatique du gaz):

$$\frac{1}{Z'_{a,12}} = \frac{1}{Z_{a,0}} \left[\left(\frac{Z_{a,0}}{Z_{a,1}} + \frac{Z_{a,0}}{Z_{a,2}} \right) \cosh \gamma \ell_0 + \left(1 + \frac{Z_{a,0}}{Z_{a,1}} \frac{Z_{a,0}}{Z_{a,2}} \right) \sinh \gamma \ell_0 \right] \quad (4)$$

$$\frac{1}{Z'_{a,12}} = \frac{1}{Z_{a,V}} + \frac{1}{Z_{a,1}} + \frac{1}{Z_{a,2}} = j\omega \left(\frac{V}{\kappa p_s} + \frac{V_{e,1}}{\kappa_r p_{s,r}} + \frac{V_{e,2}}{\kappa_r p_{s,r}} \right) \quad (3)$$

where

V is the total geometrical volume of the coupler, m^3 ;

$V_{e,1}$ is the equivalent volume of microphone (1), m^3 ;

$V_{e,2}$ is the equivalent volume of microphone (2), m^3 ;

$Z_{a,V} = \frac{\kappa p_s}{j\omega V}$ is the acoustic impedance of the gas enclosed in the coupler, $\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$;

ω is the angular frequency, rad/s ;

p_s is the static pressure, Pa ;

κ is the ratio of the specific heat capacities at measurement conditions;

κ_r is κ at reference conditions.

Values for κ and κ_r can be derived from equations given in annex F.

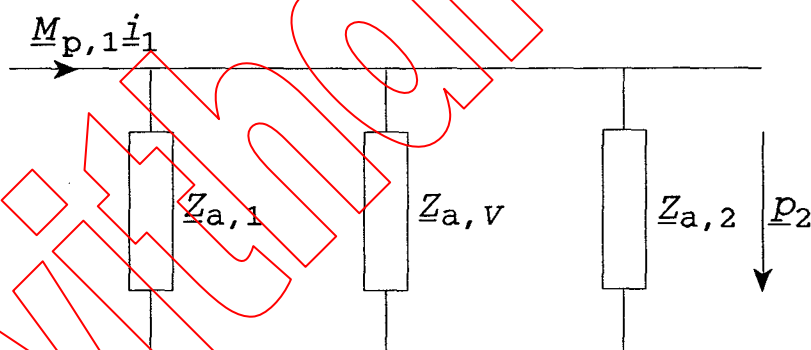


Figure 2 - Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when coupler dimensions are small compared with wavelength

At higher frequencies, when the dimensions are not sufficiently small compared with the wavelength, the evaluation of $Z_{a,12}$ generally becomes complicated. However, if the shape of the coupler is cylindrical and the diameter the same as that of the microphone diaphragms, then, at frequencies where planewave transmission can be assumed, the whole system can be considered as a homogeneous transmission line (see figure 3); $Z_{a,12}$ is then given by $Z'_{a,12}$ (assuming adiabatic compression and expansion of the gas):

$$\frac{1}{Z'_{a,12}} = \frac{1}{Z_{a,0}} \left[\left(\frac{Z_{a,0}}{Z_{a,1}} + \frac{Z_{a,0}}{Z_{a,2}} \right) \cosh \gamma \ell_0 + \left(1 + \frac{Z_{a,0}}{Z_{a,1}} \frac{Z_{a,0}}{Z_{a,2}} \right) \sinh \gamma \ell_0 \right] \quad (4)$$

où

$$Z_{a,o} = \rho c / S_o$$

ρ est la masse volumique du gaz à l'intérieur du coupleur, kg/m³;

c est la célérité du son en espace libre dans le gaz, m/s;

S_o est l'aire de la section droite du coupleur, m²;

ℓ_o est la longueur du coupleur, c'est-à-dire la distance entre les deux membranes, m;

$\gamma = \alpha + j\beta$ est la constante de propagation complexe, m⁻¹.

Quand on utilise l'équation (4), on peut obtenir une valeur approchée de γ en faisant $\alpha = 0$ et $\beta = \omega/c$.

Il y a lieu de tenir compte de tout volume d'air associé aux microphones qui n'est pas compris dans le volume limité par les parois du coupleur et les membranes (voir 7.3.3).

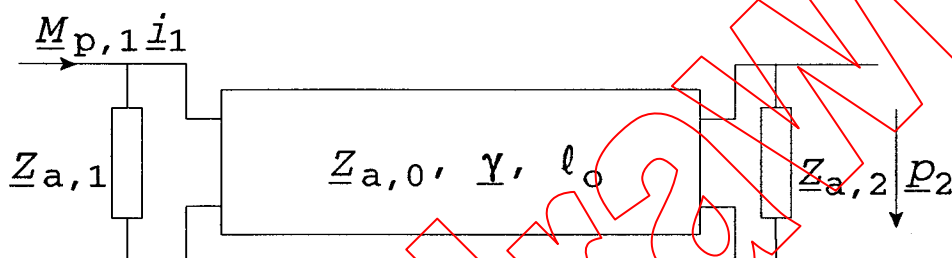


Figure 3 - Circuit équivalent pour évaluer $Z_{a,12}$ quand on suppose une transmission en ondes planes dans le coupleur

5.5 Correction de conduction thermique

L'évaluation de $Z_{a,12}$ au paragraphe précédent suppose un comportement adiabatique dans le coupleur. Cependant, dans la pratique, l'influence de la conduction thermique au niveau des parois du coupleur entraîne des écarts par rapport aux conditions purement adiabatiques, spécialement pour les coupleurs de petites dimensions et aux fréquences basses. Pour un coupleur de forme simple et avec l'hypothèse que les parois restent à température constante, l'influence des pertes par conduction thermique peut être calculée et exprimée sous forme d'un facteur correctif complexe Δ_H appliqué au volume géométrique V dans l'équation (3) ou à l'aire de la section droite S_o dans l'équation (4).

Des expressions de calcul du facteur correctif Δ_H sont données dans l'annexe A.

5.6 Correction de tube capillaire

Le coupleur est généralement muni de tubes capillaires destinés à l'égalisation des pressions statiques entre l'intérieur et l'extérieur du coupleur. Deux tubes capillaires permettent également l'introduction d'un gaz autre que l'air.

L'impédance acoustique à l'entrée d'un tube capillaire ouvert est donnée par:

$$Z_{a,C} = Z_{a,t} \tanh \gamma \ell_C \quad (5)$$

where

$$\underline{Z}_{a,0} = \rho c / S_0$$

ρ is the density of the gas enclosed, kg/m³;

c is the free-space speed of sound in the gas, m/s;

S_0 is the cross-sectional area of the coupler, m²;

ℓ_0 is the length of the coupler, i.e. the distance between the two diaphragms, m;

$\gamma = \alpha + j\beta$ is the complex propagation coefficient, m⁻¹.

When used in equation (4), γ may be approximated by putting α equal to zero and β equal to ω/c .

Allowance shall be made for any air volume associated with the microphones that is not enclosed by the circumference of the coupler and the two diaphragms (see 7.3.3).

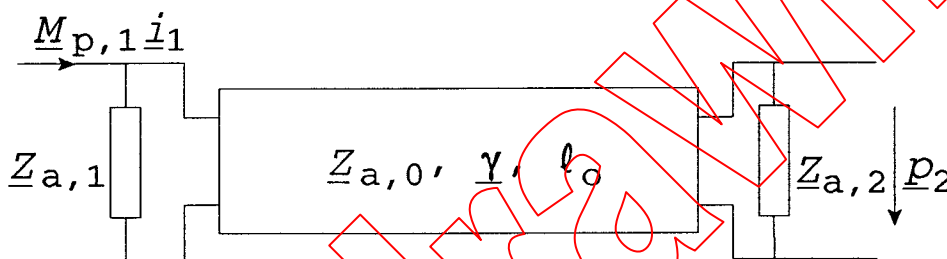


Figure 3 - Equivalent circuit for evaluating $\underline{Z}_{a,12}$, when plane wave transmission in the coupler can be assumed

5.5 Heat-conduction correction

The evaluation of $\underline{Z}_{a,12}$ in the preceding clause assumes adiabatic conditions in the coupler. However, in practice, the influence of heat conduction at the walls of the coupler causes departure from purely adiabatic conditions, especially for small couplers and low frequencies. For a coupler of simple shape and under the assumption that the walls remain at a constant temperature, the influence of the heat conduction losses can be calculated and expressed in terms of a complex correction factor Δ_H to the geometrical volume V in equation (3) or to the cross-sectional area S_0 in equation (4).

Expressions for the correction factor Δ_H are given in annex A.

5.6 Capillary tube correction

The coupler is usually fitted with capillary tubes in order to equalize the static pressure inside and outside the coupler. Two such capillary tubes also permit the introduction of a gas other than air.

The acoustic input impedance of an open capillary tube is given by:

$$\underline{Z}_{a,C} = \underline{Z}_{a,t} \tanh \gamma \ell_C \quad (5)$$