

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

X

ICS 17.140.50

ISBN 2-8318-1030-4

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Reference environmental conditions	7
5 Principles of pressure calibration by reciprocity	7
5.1 General principles	7
5.1.1 General	7
5.1.2 General principles using three microphones	7
5.1.3 General principles using two microphones and an auxiliary sound source	7
5.2 Basic expressions	8
5.3 Insert voltage technique	9
5.4 Evaluation of the acoustic transfer impedance	9
5.5 Heat-conduction correction.....	11
5.6 Capillary tube correction.....	11
5.7 Final expressions for the pressure sensitivity	12
5.7.1 Method using three microphones	12
5.7.2 Method using two microphones and an auxiliary sound source	12
6 Factors influencing the pressure sensitivity of microphones.....	13
6.1 General.....	13
6.2 Polarizing voltage.....	13
6.3 Ground-shield reference configuration.....	13
6.4 Pressure distribution over the diaphragm	13
6.5 Dependence on environmental conditions	14
6.5.1 Static pressure.....	14
6.5.2 Temperature.....	14
6.5.3 Humidity	14
6.5.4 Transformation to reference environmental conditions	15
7 Calibration uncertainty components.....	15
7.1 General.....	15
7.2 Electrical transfer impedance	15
7.3 Acoustic transfer impedance	15
7.3.1 General	15
7.3.2 Coupler properties	15
7.3.3 Microphone parameters	16
7.4 Imperfection of theory.....	17
7.5 Uncertainty on pressure sensitivity level.....	18
Annex A (normative) Heat conduction and viscous losses in a closed cavity	20
Annex B (normative) Acoustic impedance of a capillary tube.....	23
Annex C (informative) Examples of cylindrical couplers for calibration of microphones	26
Annex D (informative) Environmental influence on the sensitivity of microphones	31
Annex E (informative) Methods for determining microphone parameters	34
Annex F (informative) Physical properties of humid air.....	37

Figure 1 – Equivalent circuit for evaluating the acoustic transfer impedance $Z_{a,12}$	9
Figure 2 – Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when coupler dimensions are small compared with wavelength.....	10
Figure 3 – Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when plane wave transmission in the coupler can be assumed.....	10
Figure C.1 – Mechanical configuration of plane-wave couplers.....	27
Figure C.2 – Mechanical configuration of large-volume couplers.....	29
Figure D.1 – Examples of static pressure coefficient of LS1P and LS2P microphones relative to the low-frequency value as a function of relative frequency f/f_0	32
Figure D.2 – General frequency dependence of that part of the temperature coefficient for LS1P and LS2P microphones caused by the variation in the impedance of the enclosed air.....	33
Table 1 – Uncertainty components.....	19
Table A.1 – Values for E_V	21
Table B.1 – Real part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m ³).....	24
Table B.2 – Imaginary part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m ³).....	25
Table C.1 – Nominal dimensions for plane-wave couplers.....	28
Table C.2 – Nominal dimensions and tolerances for large-volume couplers.....	29
Table C.3 – Experimentally determined wave-motion corrections for the air-filled large-volume coupler used with type LS1P microphones.....	30
Table F.1 – Calculated values of the quantities in Clauses F.1 to F.5 for two sets of environmental conditions.....	40
Table F.2 – Coefficients used in the equations for humid air properties.....	41

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61094-2 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1992. This second edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- an update of Clause 6 to fulfil the requirements of ISO/IEC Guide 98-3;
- an improvement of the heat conduction theory in Annex A;
- a revision of Annex F: Physical properties of humid air.

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

FDIS	Report on voting
29/671/FDIS	29/676/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61094 series, published under the general title *Electroacoustics – Measurement microphones*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

ELECTROACOUSTICS – MEASUREMENT MICROPHONES –

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

1 Scope

This part of International Standard IEC 61094

- is applicable to laboratory standard microphones meeting the requirements of IEC 61094-1 and other types of condenser microphone having the same mechanical dimensions;
- specifies a primary method of determining the complex pressure sensitivity so as to establish a reproducible and accurate basis for the measurement of sound pressure.

All quantities are expressed in SI units.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61094-1:2000, *Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*¹

¹ ISO/IEC Guide 98-3:2008 is published as a reissue of the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 1995.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	46
1 Domaine d'application	48
2 Références normatives.....	48
3 Termes et définitions	48
4 Conditions ambiantes de référence.....	49
5 Principes de l'étalonnage en pression par réciprocity	49
5.1 Principe général	49
5.1.1 Généralités.....	49
5.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones	49
5.1.3 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire.....	49
5.2 Expressions de base	50
5.3 Technique de la tension insérée.....	51
5.4 Evaluation de l'impédance acoustique de transfert	51
5.5 Correction de conduction thermique	53
5.6 Correction de tube capillaire.....	54
5.7 Expressions finales de l'efficacité en pression.....	54
5.7.1 Méthode utilisant trois microphones.....	54
5.7.2 Méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire	55
6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression.....	55
6.1 Généralités.....	55
6.2 Tension de polarisation	55
6.3 Configuration de référence du blindage.....	55
6.4 Distribution de la pression sur la membrane	56
6.5 Influence des conditions d'environnement	56
6.5.1 Pression statique.....	56
6.5.2 Température.....	56
6.5.3 Humidité.....	57
6.5.4 Migration vers les conditions ambiantes de référence.....	57
7 Composantes d'incertitude d'étalonnage	57
7.1 Généralités.....	57
7.2 Impédance électrique de transfert	57
7.3 Impédance acoustique de transfert.....	58
7.3.1 Généralités.....	58
7.3.2 Propriétés des coupleurs	58
7.3.3 Paramètres des microphones	59
7.4 Imperfection de la théorie.....	60
7.5 Incertitude sur le niveau d'efficacité en pression	60
Annexe A (normative) Conduction thermique et pertes par viscosité dans une cavité close.....	63
Annexe B (normative) Impédance acoustique d'un tube capillaire	67
Annexe C (informative) Exemples de coupleurs cylindriques pour l'étalonnage des microphones	70
Annexe D (informative) Influence de l'environnement sur l'efficacité des microphones.....	75
Annexe E (informative) Méthodes de détermination des paramètres des microphones.....	78
Annexe F (informative) Propriétés physiques de l'air humide	81

Figure 1 – Circuit équivalent pour évaluer l'impédance acoustique de transfert $Z_{a,12}$	51
Figure 2 – Circuit équivalent pour évaluer $Z'_{a,12}$ quand les dimensions du coupleur sont petites par rapport à la longueur d'onde.....	52
Figure 3 – Circuit équivalent pour évaluer $Z''_{a,12}$ quand on suppose une transmission en ondes planes dans le coupleur.....	52
Figure C.1 – Configuration mécanique des coupleurs en ondes planes.....	71
Figure C.2 – Configuration mécanique des coupleurs de grands volumes.....	73
Figure D.1 – Exemples de variation du coefficient de pression statique des microphones de type LS1P et LS2P par rapport à la valeur en basse fréquence en fonction de la fréquence relative f/f_0	76
Figure D.2 – Variation générale, en fonction de la fréquence, de la composante du coefficient de température provoquée par les variations de l'impédance acoustique de l'air enfermé dans la cavité arrière, pour les microphones LS1P et LS2P.....	77
Tableau 1 – Composantes d'incertitude.....	61
Tableau A.1 – Valeurs pour E_V	64
Tableau B.1 – Partie réelle de $Z_{a,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m ³).....	68
Tableau B.2 – Partie imaginaire de $Z_{a,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m ³).....	69
Tableau C.1 – Dimensions nominales pour les coupleurs en ondes planes.....	72
Tableau C.2 – Dimensions nominales et tolérances pour les coupleurs de grands volumes.....	73
Tableau C.3 – Corrections de propagation déterminées expérimentalement pour le coupleur de grand volume rempli d'air utilisé avec les microphones de type LS1P.....	74
Tableau F.1 – Valeurs calculées des grandeurs mentionnées dans les Articles F.1 à F.5 pour deux ensembles de conditions environnementales.....	84
Tableau F.2 – Coefficients utilisés dans les équations pour les propriétés de l'air humide.....	85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLECTROACOUSTIQUE – 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) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, mais la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme Internationale CEI 61094-2 a été préparée par le comité d'étude 29 de la CEI: Electroacoustique.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 1992. Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- une mise à jour de l'Article 6 afin d'être en conformité avec les exigences du Guide ISO/CEI 98-3;
- une amélioration de la théorie de la conduction thermique en Annexe A;
- une révision de l'Annexe F: Propriétés physiques de l'air humide.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
29/671/FDIS	29/676/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives de l'ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61094, présentées sous le titre général *Electroacoustique – Microphones de mesure* peut être consultée sur le site Web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>", dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

ÉLECTROACOUSTIQUE – 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 Norme internationale CEI 61094

- est applicable aux microphones étalons de laboratoire répondant aux prescriptions de la CEI 61094-1 et aux autres types de microphones à condensateur présentant les mêmes dimensions mécaniques;
- spécifie une méthode primaire de détermination de l'efficacité en pression complexe de manière à établir une base reproductible et exacte pour la mesure de la pression acoustique.

Toutes les grandeurs sont exprimées en unités SI.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61094-1:2000 *Microphones de mesure – Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire*

Guide ISO/CEI 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*¹

¹ Le Guide ISO/CEI 98-3:2008 est publié en tant que nouvelle édition du Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM), 1995.