

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electroacoustics – Measurement microphones –
Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones
by comparison**

**Électroacoustique – Microphones de mesure –
Partie 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression par comparaison des
microphones étalons de travail**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electroacoustics – Measurement microphones –
Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones
by comparison**

**Électroacoustique – Microphones de mesure –
Partie 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression par comparaison des
microphones étalons de travail**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.140.50

ISBN 978-2-8322-3434-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

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 comparison	7
5.1 Principles.....	7
5.1.1 General principle.....	7
5.1.2 General principles using simultaneous excitation	7
5.1.3 General principles using sequential excitation.....	8
5.2 Measuring the output voltages of the microphones.....	8
6 Factors influencing the pressure sensitivity	8
6.1 General.....	8
6.2 Microphone pressure equalization mechanism	8
6.3 Polarising voltage.....	9
6.4 Reference shield configuration	9
6.5 Pressure distribution over the diaphragms	9
6.6 Dependence on environmental conditions	10
6.7 Validation.....	10
7 Calibration uncertainty components.....	10
7.1 General.....	10
7.2 Sensitivity of the reference microphone	10
7.3 Measurements of microphone output	11
7.4 Differences between the sound pressure at the test microphone and that at the reference microphone.....	11
7.5 Acoustic impedances of the microphones.....	11
7.6 Microphone separation distance	11
7.7 Microphone capacitance.....	11
7.8 Microphone configuration during calibration	11
7.9 Uncertainty on pressure sensitivity level	12
Annex A (informative) Examples of couplers and jigs for simultaneous excitation	13
A.1 A coupler for use with WS2 microphones at frequencies up to 10 kHz	13
A.2 A jig for use with WS2 or WS3 microphones at frequencies up to 20 kHz.....	14
Annex B (informative) Examples of couplers for sequential excitation.....	16
B.1 A coupler for use with LS1 microphones at frequencies up to 8 kHz	16
B.2 A coupler for use with WS2 microphones at frequencies up to 16 kHz	16
Annex C (informative) Determining the open-circuit sensitivity of a measurement microphone without using the insert-voltage method.....	18
Annex D (informative) Typical uncertainty analysis	19
D.1 Introduction.....	19
D.2 Analysis.....	19
D.3 Combined and expanded uncertainties	21
Bibliography	22
Figure A.1 – A coupler for use with WS2 microphones	13

Figure A.2 – A jig fitted with an LS2 and WS2 microphone	14
Figure A.3 – Example arrangement of LS2 and WS2 microphones in a jig	14
Figure A.4 – Example arrangement of LS2 and WS3 microphones in a jig	14
Figure B.1 – A coupler for use with LS1 microphones	16
Figure B.2 – A coupler for use with WS2 microphones	17
Table A.1 – Calculated corrections to be added to the sensitivity level of the WS3 microphone when using the arrangement in Figure A.4	15
Table D.1 – Example uncertainty budget	20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROACOUSTICS – MEASUREMENT MICROPHONES –**Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison**

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 61094-5 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

This edition cancels and replaces the first edition published in 2001. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) details of additional components of uncertainty;
- b) revised corrections for type WS3 microphones;
- c) provision for the calibration of microphones in driven shield configuration.

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

CDV	Report on voting
29/870/CDV	29/887A/RVC

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 in the IEC 61904 series, published under the general title *Measurement microphones*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison

1 Scope

This part of IEC 61094-5 is applicable to working standard microphones with removable protection grids meeting the requirements of IEC 61094-4 and to laboratory standard microphones meeting the requirements of IEC 61094-1.

This part of IEC 61094 describes methods of determining the pressure sensitivity by comparison with either a laboratory standard microphone or another working standard microphone with known sensitivity in the respective frequency range.

Alternative comparison methods based on the principles described in IEC 61094-2 are possible but beyond the scope of this part of IEC 61094.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. 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, *Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*

IEC 61094-4, *Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61094-1 and the following apply.

3.1

reference microphone

laboratory standard microphone or working standard microphone with known pressure sensitivity

3.2

test microphone

laboratory standard microphone or working standard microphone to be calibrated by comparison with a reference microphone

3.3

monitor microphone

microphone used to measure changes in sound pressure

3.4 coupler

device which, when fitted with microphones, forms a cavity of predetermined shape and dimensions and provides an acoustic coupling element between the microphones and between the microphones and the sound source

3.5 jig

device which, when fitted with microphones, holds them with their diaphragms face to face separated by a small distance but does not enclose the space between them

4 Reference environmental conditions

The reference environmental conditions are:

- temperature 23,0 °C
- static pressure 101,325 kPa
- relative humidity 50 %

5 Principles of pressure calibration by comparison

5.1 Principles

5.1.1 General principle

The pressure sensitivity of a measurement microphone is defined in terms of a sound pressure applied uniformly over the diaphragm. Consequently, the pressure sensitivity can only be realised in principle for microphones from which the protection grid can be removed and the diaphragm exposed to the sound pressure stimulus.

The principle of these comparison methods is that when the reference microphone and the test microphone are exposed to the same sound pressure either simultaneously or sequentially, the ratio of their pressure sensitivities is given by the ratio of their open-circuit output voltages. The sensitivity (both modulus and phase) of the test microphone can then be calculated from the sensitivity of the reference microphone.

The principle of the method allows the test microphone to be attached to a particular preamplifier and the sensitivity of the system may be referred to the output of that preamplifier.

Multi-frequency measurements can be performed particularly rapidly if a wideband sound source is used and the output voltages of the microphones are analysed in narrow bands.

NOTE If the reference and test microphones have significantly different frequency response characteristics, e.g. around resonance frequencies, or when a pressure response microphone is compared with a free-field response microphone, this approach can lead to errors when the intention is to determine the pressure sensitivity at the test frequency, rather than the test frequency band. Due consideration of the analysis bandwidth is advised to avoid such errors. Typically, a bandwidth of 1/6th-octave or narrower will be sufficient to constrain any error to less than 0,01 dB. However further caution is advised on reducing the bandwidth too severely, as can be possible with FFT (fast Fourier transform) analysers, as this can highlight deficiencies such as standing waves in the sound field, which can also lead to errors (see [1]¹ for further details).

5.1.2 General principles using simultaneous excitation

In order for the two microphones to be simultaneously exposed to essentially the same sound pressure it is usually necessary for the front surfaces of the two microphones to be separated

¹ Numbers in brackets refer to the bibliography.

by a small fraction of the wavelength at the highest frequency of interest. For frequencies up to 20 kHz, this can be achieved by mounting the two microphones face-to-face separated by approximately 1 mm in either a coupler or a jig.

The optimum microphone separation is somewhat dependent on the acoustic environment and should be determined for a particular set-up. Details of likely levels of performance can be found in [1]¹

Couplers usually contain an integral sound source; jig mounted microphones are usually exposed to an externally produced sound field. In order to reduce the effect of systematic differences in sound pressure between the two microphone positions, for example caused by some asymmetries, the following procedure shall be used: after the ratio of the microphone pressure sensitivities is first determined, the microphones shall be interchanged, and the measurement repeated. The sensitivity is then calculated from the mean of the two ratios. Examples of practical arrangements and precautions to be taken are given in Annex A.

NOTE Avoiding asymmetry and standing waves in the sound field, especially in jig configurations, has a significant beneficial impact on the reliability of the results.

5.1.3 General principles using sequential excitation

In order for the two microphones to be sequentially exposed to essentially the same sound pressure, either the exchange of microphones shall not change the sound pressure significantly or any significant change shall be detected and corrected. This can be achieved by incorporating a sound source, a monitor microphone, and the test/reference microphone in a coupler. In any design of coupler, the monitor microphone shall accurately sense changes in the sound pressure at the test/reference microphone position. Examples of practical arrangements are given in Annex B.

5.2 Measuring the output voltages of the microphones

The output of a test or reference microphone may be determined as the open-circuit voltage by use of the insert voltage technique (see 5.3 of IEC 61094-2:2009) or by using a measuring system consisting of a high input impedance microphone preamplifier and a voltmeter (see Annex C).

The method used to measure the output voltage of the test microphone shall be stated on any calibration certificate.

6 Factors influencing the pressure sensitivity

6.1 General

The pressure sensitivity of a measurement microphone can depend on environmental conditions. Further, the definition of the pressure sensitivity implies that certain requirements be fulfilled by the measurements. It is essential during a calibration that these conditions are controlled sufficiently well if the resulting uncertainty components are to remain small.

6.2 Microphone pressure equalization mechanism

The normal construction of a measurement microphone has the cavity behind the diaphragm fitted with a narrow pressure-equalizing tube to permit the static pressure to be the same on both sides of the diaphragm. Consequently, at very low frequencies, this tube also partially equalizes the sound pressure. If, during the calibration, the sound which is coherent with that on the diaphragm is incident on the pressure-equalizing tube, then this could change the apparent sensitivity at low frequencies and the result would not be the true pressure sensitivity.

In a jig, where sound is incident on the pressure equalizing tube, the size of this change shall be determined by comparing calibrations made in the jig with calibrations made in a coupler that does not expose the pressure equalizing tube to the sound field.

In a coupler an "O" ring can be used to seal the gap between the coupler and the microphone. If this is done, care shall be taken to ensure that the "O" ring does not exert undue force on the microphone and cause a change in sensitivity.

6.3 Polarising voltage

If the test microphone requires an external polarising voltage, then the polarising voltage used during the calibration shall be reported.

If the reference microphone requires an external polarising voltage, then any difference between that applied when it was calibrated and that applied when it is used as the reference microphone shall be allowed for in the uncertainty calculations (see Annex D).

6.4 Reference shield configuration

When the open-circuit voltage is measured, the shield configurations given in IEC 61094-1 or IEC 61094-4 shall be used.

If a microphone is intended to be used with a preamplifier having a non-standard shield configuration, then it shall be calibrated as a system along with its preamplifier.

When insert voltage calibrations are performed, it shall be stated whether output voltage from the microphone is applied to the shield (driven shield configuration), or whether the shield is grounded.

If the instruction manual specifies a maximum mechanical force to be applied to the central electrical contact of the microphone, this limit shall not be exceeded.

6.5 Pressure distribution over the diaphragms

The definition of the pressure sensitivity assumes that the sound pressure over the diaphragm is applied uniformly. The output voltage of a microphone presented with a non-uniform pressure distribution over the surface of the diaphragm will differ from the output voltage of the microphone when presented with a uniform pressure distribution having the same mean value, because the microphone is usually more sensitive to a sound pressure at the centre of the diaphragm.

Uniformity of sound pressure over the diaphragm of the microphone can be optimised by maintaining the radial symmetry of the sound field around the circumferences of the microphones. This can be achieved using a radially symmetric sound source positioned coaxially with the microphones and, when the microphones are mounted in a jig, with the microphones positioned in the far field of the sound source. Although pressure non-uniformity over the surface of the diaphragm can be minimised by using a radially symmetric sound source, some non-uniformity at high frequencies can remain even with a perfect source.

It is difficult to control the uniformity of the sound field in an actual calibration set-up. However, the combined effect of asymmetries in the sound field and in the microphones becomes evident when the microphones are rotated relative to each other about their axis of symmetry. Thus, the related component of measurement uncertainty can be reduced by averaging results from a number of such measurement configurations.

NOTE When comparing microphones of the same model, the requirement for uniformity of the sound field reduces to a requirement of rotational symmetry of the sound field.

Alternatively, issues with sound field non-uniformity can be overcome if excitation is made with a diffuse sound field, for example in a reverberation room. Care should be taken to avoid creating standing waves in the sound field surrounding the microphones as these can cause significant and unpredictable measurement errors. A broadband source, or repeated measurements at different positions within the field, is also necessary to achieve a sufficiently low measurement uncertainty.

The effect of a non-uniform pressure distribution over the surface of the diaphragm will be significantly greater if the test and reference microphones are of different diameters. A theoretical model which can be used to apply corrections and assess the uncertainties in this case is given in the literature (for example [1]).

6.6 Dependence on environmental conditions

The sensitivity of a microphone can depend on static pressure, temperature or humidity. This dependence can be determined by comparison with a well characterised laboratory standard microphone over a range of conditions.

If the reference microphone and the test microphone are different manufacturer models, then the sensitivity of the reference microphone shall be corrected to the actual environmental conditions during the test. Alternatively, if they are of the same model, there can be an advantage in assuming that they have the same dependence on environmental conditions so that the calibration of the test microphone can be referred to the conditions at which the calibration of the reference microphone is valid.

Alternatively, when reporting the results of a calibration, the pressure sensitivity can be corrected to the reference environmental conditions if reliable correction data are available.

The actual conditions during the calibration shall be reported.

6.7 Validation

Calibrations performed in any particular jig or coupler shall be validated by comparison with calibrations performed in other jigs and couplers and alternative sound sources. A separate validation is necessary for each different type of microphone. If the test microphone is a laboratory standard microphone, then the jig or coupler can be validated by comparing a comparison calibration with a reciprocity calibration. For some microphones, it can be necessary to use more than one jig and/or coupler to cover a full frequency range with low uncertainty.

7 Calibration uncertainty components

7.1 General

In addition to the factors influencing the pressure sensitivity mentioned in Clause 6, further uncertainty components are introduced by the method, the equipment and the degree of care under which the calibration is carried out. Factors which affect the calibration in a known way should be measured or calculated with an accuracy necessary to achieve the desired overall measurement uncertainty, and with as high an accuracy as practicable if their influence is to be minimised.

7.2 Sensitivity of the reference microphone

The uncertainty in the sensitivity of the reference microphone directly affects the uncertainty in the sensitivity of the test microphone.

7.3 Measurements of microphone output

Uncertainties of random or time-varying nature in the measurement of the outputs of the microphones directly affect the uncertainty in the sensitivity of the test microphone.

Uncertainties of systematic nature in the measurement of the outputs of the microphones can affect the uncertainty in the sensitivity of the test microphone. The uncertainty can be reduced if the same system is used for both the test and reference microphones.

If test and reference microphone are measured simultaneously, systematic uncertainty can be reduced using the procedure described in Annex C.

7.4 Differences between the sound pressure at the test microphone and that at the reference microphone

With simultaneous or sequential excitation, differences in the acoustic impedance between the test and reference microphones can cause the sound pressure at the test and reference microphones to differ. A theoretical model which may be used to assess the resulting uncertainty can be found in the literature (for example [2]).

7.5 Acoustic impedances of the microphones

When the reference microphone and the test microphone have significantly different acoustic impedances (for example, pressure and free-field response microphones at frequencies above 10 kHz), they can respond differently to the same sound field because of differing volume velocities at the diaphragms. It is recommended that wherever possible a reference microphone of similar acoustic impedance to that of the test microphone be used. If no suitable reference microphone is available, the size of the error caused should be estimated and added to the uncertainty budget.

7.6 Microphone separation distance

The ideal microphone separation distance used in simultaneous excitation measurements should be established for each acoustic environment in which jig measurements are to be carried out. The distance can be determined by making a series of measurements at different separations and comparing the results with a primary pressure calibration for the same microphone. Measurements made in some sound fields can be very sensitive to very small changes in microphone separation distance and microphone position relative to the sound field. In these cases it is preferable to improve the sound field rather than the positioning system because a very reproducible positioning system can introduce repeatable systematic errors that are not easily detected.

7.7 Microphone capacitance

In some calibration methods (for example the approach outlined in Annex C), the gain of the microphone preamplifier(s) used is assumed to be constant when fitted with different microphones. However the gain of the preamplifier is typically a function of the attached microphone capacitance.

Therefore a correction should be made or a component of uncertainty allowed if the capacitances of the reference microphone and test microphone are sufficiently different for the influence on the preamplifier gain to be significant.

NOTE This effect is avoided if the insert voltage technique is used.

7.8 Microphone configuration during calibration

It may be necessary to fit a microphone with one or more adapters suiting a particular calibration coupler or configuration. Such adapters may have an influence on the sensitivity of the microphone, and this shall be included as an uncertainty component.

NOTE Both the reference and test microphones can be influenced by the fitting of adapters.

7.9 Uncertainty on pressure sensitivity level

For determining the pressure sensitivity level of working standard microphones, when the reference microphone has been calibrated in accordance with IEC 61094-2, it is estimated that a comparison calibration of microphones of the same diameter can achieve an expanded uncertainty with coverage factor 2 (see ISO/IEC Guide 98-3) of approximately 0,1 dB at low and middle frequencies. The uncertainty increases to about 0,2 dB at 10 kHz and 20 kHz for WS1P and WS2P working standard microphones, respectively. Annex D contains an example of an uncertainty analysis.

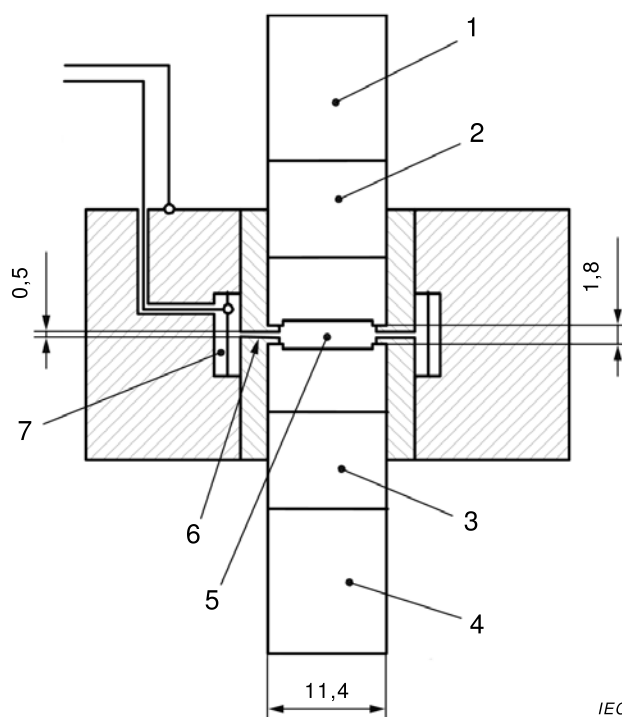
Annex A (informative)

Examples of couplers and jigs for simultaneous excitation

A.1 A coupler for use with WS2 microphones at frequencies up to 10 kHz

The coupler shown in Figure A.1 allows two microphones with exposed diaphragms to be inserted face-to-face separated by about 2 mm. The coupler contains a radial sound source that generates a radially symmetric acoustic field between the diaphragms. In this example the grid of the test microphone has been removed and replaced with an adaptor ring to give the configuration of an LS2 microphone. Variations on the principle could include a slightly larger diameter coupler where the test microphone would be supported by other means.

Dimensions in millimetres



Key

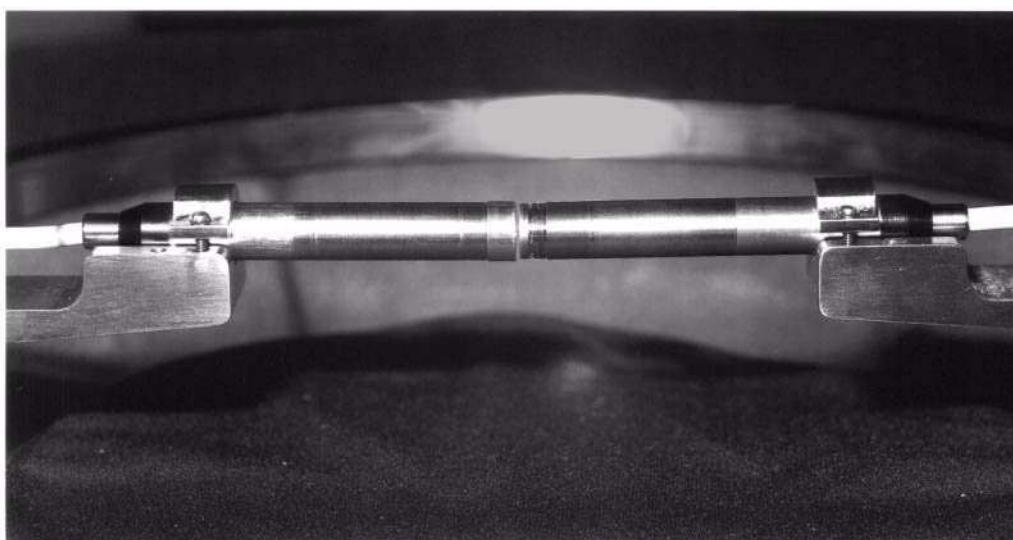
- 1 Preamplifier A
- 2 Microphone A
- 3 Microphone B
- 4 Preamplifier B
- 5 Coupler cavity, diameter 9,3 mm
- 6 Sound inlet
- 7 Cylindrical source diaphragm

Figure A.1 – A coupler for use with WS2 microphones

This method may also be used without removing any protection grid from the test microphone provided that the presence of the grid is allowed for in the uncertainty calculation. The grid can cause an unacceptable level of measurement uncertainty at high frequencies, effectively reducing the frequency range over which the coupler can be used.

A.2 A jig for use with WS2 or WS3 microphones at frequencies up to 20 kHz

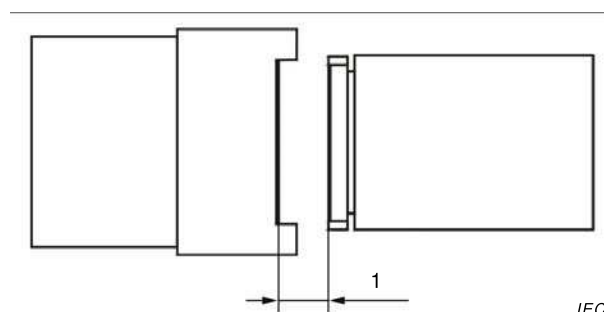
A simple arrangement for holding and positioning an LS2 microphone and a WS2 microphone in a suitable position for a simultaneous calibration is shown in Figure A.2. The jig is enclosed in an acoustic chamber with a loudspeaker providing the sound source. The preferred location for the sound source is on the axis of symmetry of the microphones. The detailed positioning for WS2 and WS3 microphones is shown in Figures A.3 and A.4 respectively. Note that the protection grids have been removed.



IEC

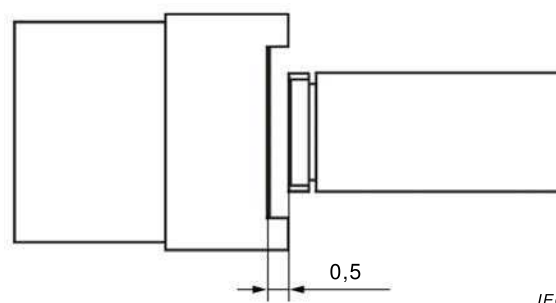
Figure A.2 – A jig fitted with an LS2 and WS2 microphone

Dimensions in millimetres



IEC

NOTE The dimension shown is the diaphragm-to-diaphragm separation



IEC

NOTE The dimension shown is the diaphragm-to-diaphragm separation. This separation distance is the only one for which the corrections specified in Table A.1 are valid

Figure A.3 – Example arrangement of LS2 and WS2 microphones in a jig

Figure A.4 – Example arrangement of LS2 and WS3 microphones in a jig

When the arrangement of Figure A.4 is used, corrections are required to account for the radial sensitivity of the microphones and the fact that the test microphone is smaller than the reference microphone. Table A.1 gives corrections to be added to the sensitivity level of the WS3 microphone assuming that the reference microphone is of type LS2aP (see [1]) and that the sound field is radially symmetrical. The expanded uncertainty on the corrections is estimated to be 10 % of their value (in dB) which is approximately the change observed by doubling the distance between the microphones.

If the sound arrives from a direction other than the axis of symmetry of the jig, measurements should be made with the sound arriving from several different directions and an average taken. A convenient means of achieving this is to use a diffuse sound field.

Table A.1 – Calculated corrections to be added to the sensitivity level of the WS3 microphone when using the arrangement in Figure A.4

Frequency kHz	Correction dB
1	-0,004
1,25	-0,006
1,6	-0,009
2	-0,015
2,5	-0,023
3,15	-0,036
4	-0,059
5	-0,092
6,3	-0,146
8	-0,235
10	-0,367
12,5	-0,572
16	-0,933
20	-1,443

NOTE The expanded uncertainty is estimated to be 1/10th of the value of the correction (in decibels).

Annex B (informative)

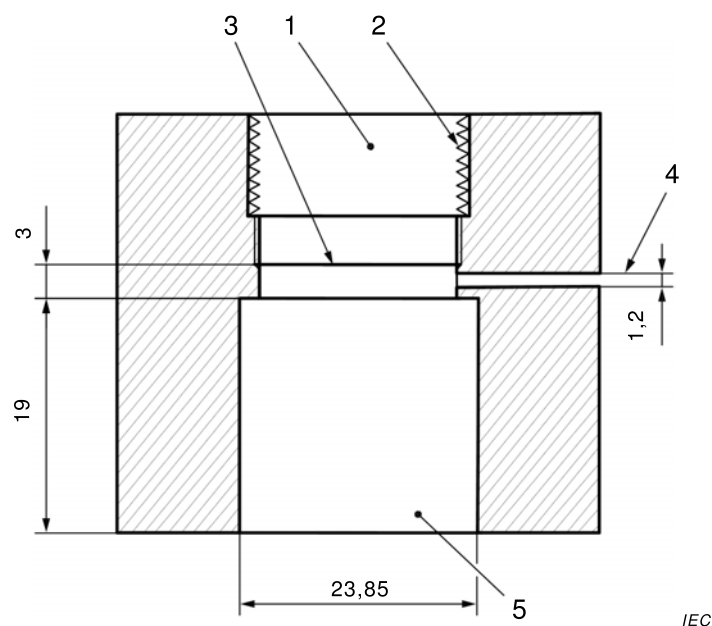
Examples of couplers for sequential excitation

B.1 A coupler for use with LS1 microphones at frequencies up to 8 kHz

A coupler for use with LS1 microphones is shown in Figure B.1. A WS1P microphone, used as the sound source, is screwed directly into the upper part of the coupler without any protection grid or adaptor. A probe tube microphone is inserted from the side of the coupler so that the probe tip is one-third of the distance along a radius from the wall, and is used to control the sound pressure in the coupler. The acoustic impedance of the probe tube microphone used can affect the results, but a tube with an acoustic impedance of $800 \text{ MPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$ has been used successfully. The test and reference microphones are held in the coupler by a yoke and spring arrangement.

If both test and reference microphones are WS1 microphones converted to the LS1 configuration with an adaptor ring, the same adaptor ring should be used on both microphones.

Dimensions in millimetres



Key

- 1 Aperture for source microphone
- 2 Thread to fit source microphone
- 3 Position of source microphone diaphragm
- 4 Probe tube
- 5 Aperture for test and reference microphone

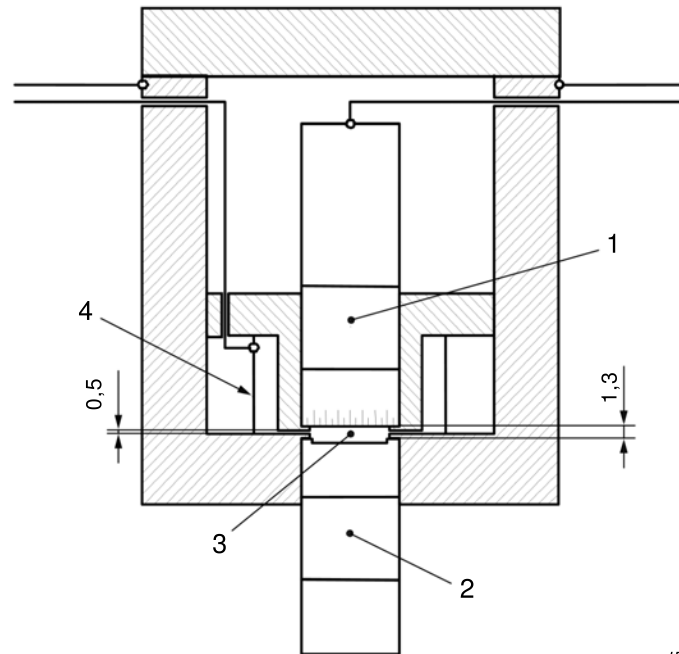
Figure B.1 – A coupler for use with LS1 microphones

B.2 A coupler for use with WS2 microphones at frequencies up to 16 kHz

Figure B.2 shows a coupler that can be used for sequential comparison calibrations of WS2 microphones. A cylindrical source diaphragm generates a radially symmetric sound field and a

monitor microphone detects the change in sound pressure when the test microphone is replaced by the reference microphone.

Dimensions in millimetres



Key

- 1 Monitor microphone
- 2 Test/reference microphone
- 3 Coupler cavity, diameter 9,3 mm
- 4 Cylindrical source diaphragm

Figure B.2 – A coupler for use with WS2 microphones

This method may also be used without removing any protection grid from the test microphone provided that the presence of the grid is allowed for in the uncertainty calculation.

Annex C (informative)

Determining the open-circuit sensitivity of a measurement microphone without using the insert-voltage method

When a comparison calibration is being performed, it is possible to determine the open-circuit sensitivity of the test microphone without using the insert-voltage method. It is necessary for the open-circuit sensitivity of the reference microphone to be known and a correction (or uncertainty) to be included for any difference due to the test and reference microphone presenting a different electrical source impedance to the preamplifier. The principle is that by interchanging the microphones between the two measuring channels and repeating the measurements, any difference in the gains of the two channels (and some other systematic effects) can be eliminated. This can be demonstrated by the following.

When two microphones with their diaphragms facing are at close proximity to each other, and their outputs measured as levels on two measurement channels, then the level reading difference, L_{C12} , between the two channels (neglecting any influence of microphone capacitance) is

$$L_{C12} = (L_1 + L_{m1} + L_{d1} + L_{WA}) - (L_2 + L_{m2} + L_{d1} + L_{WB}) \quad (C.1)$$

where

L_1 and L_2 are the pressure sensitivity levels of the microphones;

L_{m1} and L_{m2} are the gains of the measuring systems;

L_{d1} is the sound pressure level that the excitation sound source produces at the centre point mid-way between the microphone diaphragms;

L_{WA} represents the difference between the sound pressure level at the microphone diaphragm at position A and L_{d1} ;

L_{WB} represents the difference between the sound pressure level at the microphone diaphragm at position B and L_{d1} .

Equation (C.1) assumes that the microphones have different sensitivities, but are otherwise identical in their mechanical and electroacoustic characteristics.

When the microphones are interchanged, the level reading difference between the two channels is

$$L_{C21} = (L_2 + L_{m1} + L_{d2} + L_{WA}) - (L_1 + L_{m2} + L_{d2} + L_{WB}) \quad (C.2)$$

where

L_{d2} is the sound pressure level that the excitation sound source produces at the centre point mid-way between the microphone diaphragms after the interchange.

From the difference between Equation (C.1) and Equation (C.2), the sensitivity level difference between the two microphones is

$$(L_1 - L_2) = \frac{1}{2}(L_{C12} - L_{C21}) \quad (C.3)$$

If L_1 is the pressure sensitivity level of a reference microphone, then the pressure sensitivity level L_2 of the test microphone can be deduced without any knowledge of L_{m1} , L_{m2} , L_{d1} , L_{d2} , L_{WA} or L_{WB} .

Annex D (informative)

Typical uncertainty analysis

D.1 Introduction

The following is an example uncertainty calculation for a hypothetical calibration protocol. It should not be taken as an exhaustive list of possible uncertainty components, or an indication of typical uncertainty values.

D.2 Analysis

The uncertainties given in Table D.1 are calculated for the example of a simultaneous calibration of a low sensitivity type WS2P microphone using an LS2P reference microphone. The coupler shown in Figure A.1 is used, and there are three repeats of the calibration. The microphones are interchanged in the coupler ports and on the pre-amplifiers to eliminate the effects of any asymmetry in the coupler and any differences in gain in the two measurement channels (see Annex C). The results are not referred to the reference environmental conditions.

The sensitivity M_{test} of the test microphone is calculated from the formula:

$$M_{\text{test}} = M_{\text{ref}} \times R_V / R_P$$

where

M_{ref} is the pressure sensitivity of the reference microphone;

R_V is the ratio of the output voltages of the test and reference microphones;

R_P is the ratio in the effective sound pressure acting on the two microphones. R_P is often reduced to unity by the process described in Annex C and the corrections such as those given in Annex B, but it will have some residual uncertainty.

For this example, figures are given for a frequency of 2 kHz only. In practice, the calculation is repeated for each frequency used. The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 2$, providing a level of confidence of approximately 95 %.

The measurement uncertainty arises from eight different sources, but additional components can be required in particular set ups or microphone configurations. The component due to repeatability is evaluated as a type B uncertainty based on limits established by a large number of similar measurements; the remaining components are also evaluated as type B. It is assumed that the sensitivity of the microphone is linearly dependent on each component and that the calibration of the reference microphone refers to the actual measurement conditions.

Table D.1 – Example uncertainty budget

Component	Standard uncertainty dB
<p>Sensitivity of reference microphone</p> <p>The uncertainty associated with the calibration of the laboratory standard microphone used as the reference, is quoted on its calibration certificate as $\pm 0,05$ dB with a coverage factor of $k = 2$. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,05/2$ dB = $0,025$ dB.</p>	0,025
<p>Microphone capacitance</p> <p>As the insert voltage technique is not used, and the preamplifiers used in the system have a non-zero input capacitance, the measurement will be influenced by the capacitance of the microphone. In a comparison calibration, the effects will cancel out if the test and reference microphone have the same nominal capacitance. However when this is not the case, an uncertainty will be introduced. From a knowledge of the input impedance of the pre-amplifiers and the manufacturer's specification for the capacitance of the microphones, it is possible to calculate that, in this particular instance, the semi-range of this component is $0,01$ dB with a rectangular distribution. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,01/\sqrt{3}$ dB = $0,006$ dB.</p>	0,006
<p>Non-linearity</p> <p>The response of the analyser to signals of different magnitudes could be in error by a small amount. Tests of the analyser are performed with two different calibrated attenuators which are separately placed to mimic the level differences that are expected to be measured in the actual calibration. The microphone calibration is only allowed to proceed if the difference between the results of these tests and the known values of the attenuators is within $0,03$ dB. Hence the semi-range of this component is $0,03$ dB with a rectangular distribution. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,03/\sqrt{3}$ dB = $0,017$ dB.</p>	0,017
<p>Microphone impedance</p> <p>The acoustical impedance of the microphone acts in series with that of the air in the space between the two microphones. Microphones with different acoustic impedance therefore see slightly different pressures when simultaneously exposed to the same pressure field (see 7.4 and [2]). The magnitude of the effect when high sensitivity and low sensitivity type WS2P microphones are compared, is a worse case and taken as the uncertainty in this example. At 2 kHz, the semi-range of this component is $0,005$ dB with a rectangular distribution. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,005/\sqrt{3}$ dB = $0,003$ dB. When microphones have significantly differing impedances (for example WS2F microphone compared against LS2P at frequencies above 10 kHz), the measurement uncertainty can be considerably larger and should be established experimentally.</p>	0,003
<p>Polarising voltage</p> <p>The polarising voltage affects the sensitivity of both the reference and test microphones. If the same polarising voltage is applied to both microphones the effect will be negligible. However if one microphone is pre-polarised, this will not be the case and the error will persist. The polarising voltage is set to $(200,0 \pm 0,2)$ V giving a semi-range for this component of 20 lg $(200,2/200)$ dB with a rectangular distribution. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,005$ dB.</p>	0,005
<p>Repeatability</p> <p>Found from the standard uncertainties of a large number of similar measurements.</p>	0,025
<p>Drift in reference microphone sensitivity since last calibration</p> <p>The sensitivity of the reference microphone can have changed since it was calibrated. Two calibrated reference microphones are compared against each other as a check before the calibration of test microphones. The comparison calibration and the reference calibration of the reference microphone should agree within $0,03$ dB. However, the value used during a calibration must be further reduced by the uncertainty associated with the comparison measurement. The standard uncertainty of this component is $0,03/\sqrt{3}$ dB = $0,017$ dB.</p>	0,017
<p>Rounding of reported results</p> <p>The result is reported with a resolution of $0,01$ dB, giving a semi-range of $0,005$ dB with a rectangular distribution. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,005/\sqrt{3}$ dB = $0,003$ dB.</p>	0,003

Additional components for special cases	Standard uncertainty in dB
<p>Corrections for the difference in diaphragm diameter when calibrating a type WS3 microphone against a type LS2 reference microphone.</p> <p>The expanded uncertainty directly associated with the calculated correction is estimated to be 10 % of the value of the correction (in decibels).</p> <p>The unaccounted for difference between the corrected comparison calibration of a WS2 microphone compared against an LS1 reference microphone and a pressure reciprocity calibration of the same WS2 performed as a validation of the method.</p> <p>The uncertainty associated with variations in the diaphragm and microphone diameters of WS3 microphone models.</p>	<p>Frequency dependent</p> <p>(see Table A.1.)</p>
<p>Uncertainties associated with system calibrations</p> <p>When microphones are calibrated as a system (i.e. in conjunction with a preamplifier) the effect due to any deviation from 200 V in the polarisation voltage supplied by the power supply unit is not cancelled out during the measurement.</p> <p>The component associated with microphone capacitance should be re-considered to account for the capacitance presented by the microphone system to each of the measurement system preamplifiers.</p>	<p>0,002</p> <p>Frequency dependent</p> <p><0,02 above 200 Hz</p>

D.3 Combined and expanded uncertainties

The combined standard uncertainty is found from the root-sum-square of the uncertainty components, which gives a value of 0,040 dB (a strict calculation would require each component to be converted from logarithmic to linear form before doing the combination but as the values are very small, the result would be essentially the same). The expanded uncertainty with a coverage factor of 2 is then 0,08 dB.

Bibliography

- [1] BARHAM R., BARRERA-FIGUEROA S. and AVISON J. E. M., Secondary pressure calibration of measurement microphones. *Metrologia*. 51. 2014.
 - [2] JARVIS D.R., Methods for determining the pressure sensitivity of working standard microphones – a report on Euromet project A311. NPL report CIRA(EXT)010, 1996
 - [3] FEDTKE T., Investigation of secondary pressure calibration methods for the phase response of measurement microphones. *Acustica* 82 Suppl 1, S 174, 1996
 - [4] JARVIS D.R. and WATKINS S.A., Methods for determining the pressure sensitivity of IEC type WS3 measurement microphones. NPL report CIRA(EXT)022, 1997
 - [5] WONG G.S.K., LIXUE Wu, Interchange microphone method for calibration by comparison. *Internoise* 98
 - [6] WONG G.S.K., EMBLETON T.F.W., Three-port two-microphone cavity for acoustical calibrations. *J. Acoust. Soc. Am.* 71, p.1276-1277, 1982.
 - [7] WONG G.S.K., Precision method for phase match of microphones. *J. Acoust. Soc. Am.* 90, p.1253-1255, 1991.
 - [8] IEC 61094-2:2009, *Measurement microphones – Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique*
 - [9] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	26
1 Domaine d'application.....	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	28
4 Conditions ambiantes de référence	29
5 Principes de l'étalonnage en pression par comparaison	29
5.1 Principes.....	29
5.1.1 Principe général.....	29
5.1.2 Principes généraux utilisant une excitation simultanée	30
5.1.3 Principes généraux utilisant une excitation séquentielle	30
5.2 Mesure des tensions de sortie des microphones	30
6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression	30
6.1 Généralités	30
6.2 Mécanisme d'égalisation de pression des microphones	31
6.3 Tension de polarisation	31
6.4 Configuration du blindage de référence	31
6.5 Distribution de la pression sur les membranes	31
6.6 Influence des conditions ambiantes	32
6.7 Validation.....	32
7 Composantes d'incertitude d'un étalonnage.....	33
7.1 Généralités	33
7.2 Efficacité du microphone de référence	33
7.3 Mesures des signaux de sortie du microphone	33
7.4 Différences entre la pression acoustique appliquée sur le microphone en essai et celle appliquée sur le microphone de référence.....	33
7.5 Impédances acoustiques des microphones	33
7.6 Distance de séparation des microphones	33
7.7 Capacité du microphone.....	34
7.8 Configuration du microphone pendant l'étalonnage	34
7.9 Incertitude sur le niveau d'efficacité en pression	34
Annexe A (informative) Exemples de coupleurs et de gabarits-soutiens pour une excitation simultanée	35
A.1 Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2 pour les fréquences allant jusqu'à 10 kHz	35
A.2 Gabarit-soutien utilisable avec les microphones de type WS2 ou WS3 pour les fréquences allant jusqu'à 20 kHz.....	36
Annexe B (informative) Exemples de coupleurs pour une excitation séquentielle	38
B.1 Coupleur utilisable avec les microphones de type LS1 pour les fréquences allant jusqu'à 8 kHz	38
B.2 Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2 pour les fréquences allant jusqu'à 16 kHz	39
Annexe C (informative) Détermination de l'efficacité en circuit ouvert d'un microphone de mesure sans utilisation de la technique de la tension insérée.....	40
Annexe D (informative) Analyse typique d'incertitude.....	41
D.1 Généralités	41
D.2 Analyse.....	41

D.3 Incertitude composée et incertitude élargie	43
Bibliographie	44
Figure A.1 – Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2	35
Figure A.2 – Gabarit-support adapté au couplage d'un microphone de type LS2 et d'un microphone de type WS2	36
Figure A.3 – Exemple de disposition de microphones de type LS2 et WS2 à l'aide d'un gabarit-support	36
Figure A.4 – Exemple de disposition de microphones de type LS2 et WS3 à l'aide d'un gabarit-support	36
Figure B.1 – Coupleur utilisable avec les microphones de type LS1	38
Figure B.2 – Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2	39
Tableau A.1 – Corrections calculées à ajouter au niveau d'efficacité d'un microphone de type WS3 lors de l'utilisation de la disposition de la Figure A.4.....	37
Tableau D.1 – Exemple de budget d'incertitude	42

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLECTROACOUSTIQUE – MICROPHONES DE MESURE –

**Partie 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression
par comparaison des microphones étalons de travail**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61094-5 a été établie par le comité d'études 29 de l'IEC: Electroacoustique.

Cette édition annule et remplace la première édition parue en 2001. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) détails relatifs aux composantes d'incertitude supplémentaires;
- b) corrections révisées pour les microphones de type WS3 (*Working Standard*, ¼" – Étalon de travail, ¼");
- c) disposition relative à l'étalonnage des microphones en configuration de blindage entraîné.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
29/870/CDV	29/887A/RVC

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 ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61094, publiées sous le titre général *Electroacoustique – Microphones de mesure*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC 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 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression par comparaison des microphones étalons de travail

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61094 s'applique aux microphones étalons de travail dotés d'une grille de protection amovible satisfaisant aux exigences de l'IEC 61094-4 et aux microphones étalons de laboratoire satisfaisant aux exigences de l'IEC 61094-1.

La présente norme décrit des méthodes de détermination de l'efficacité en pression par comparaison avec un microphone étalon de laboratoire ou un autre microphone étalon de travail dont l'efficacité dans la plage de fréquences concernée est connue.

D'autres méthodes de comparaison reposant sur les principes décrits dans l'IEC 61094-2 sont possibles, mais hors du domaine d'application de la présente norme.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

IEC 61094-1, *Microphones de mesure – Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire*

IEC 61094-4, *Microphones de mesure – Partie 4: Spécifications des microphones étalons de travail*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 61094-1, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

microphone de référence

microphone étalon de laboratoire ou microphone étalon de travail dont l'efficacité en pression est connue

3.2

microphone en essai

microphone étalon de laboratoire ou microphone étalon de travail destiné à être étalonné par comparaison avec un microphone de référence

3.3

microphone de contrôle

microphone destiné à mesurer les variations de la pression acoustique

3.4

coupleur

dispositif qui, couplé à des microphones, forme une cavité de forme et de dimensions prédéterminées, et qui constitue un élément de couplage acoustique entre les microphones ainsi qu'entre les microphones et la source sonore

3.5

gabarit-support

dispositif qui, adapté à des microphones, maintient ceux-ci de sorte que les membranes soient disposées face à face et soient séparées par une faible distance sans former d'espace clos entre eux

4 Conditions ambiantes de référence

Les conditions ambiantes de référence sont les suivantes:

- température 23,0 °C
- pression statique 101,325 kPa
- humidité relative 50 %

5 Principes de l'étalonnage en pression par comparaison

5.1 Principes

5.1.1 Principe général

L'efficacité en pression d'un microphone de mesure est définie pour une pression acoustique uniformément appliquée sur la membrane. Par conséquent, l'efficacité en pression ne peut être déterminée en principe que pour des microphones dont la grille de protection peut être enlevée afin que la membrane soit exposée au stimulus de pression acoustique.

Le principe de ces méthodes de comparaison consiste à exposer le microphone de référence et le microphone en essai à la même pression acoustique, soit simultanément, soit successivement. Ainsi, le rapport de leur efficacité en pression est donné par le rapport de leur tension de sortie en circuit ouvert. L'efficacité (aussi bien en module qu'en phase) du microphone en essai peut alors être calculée à partir de l'efficacité du microphone de référence.

Le principe de la méthode permet d'associer le microphone en essai à un préamplificateur particulier, et l'efficacité du système peut se référer à la sortie de ce préamplificateur.

Des mesures multifréquences peuvent être réalisées de manière particulièrement rapide en utilisant une source sonore à large bande et en analysant en bande étroite les tensions de sortie des microphones.

NOTE Si le microphone de référence et le microphone en essai présentent des caractéristiques de réponse en fréquence très différentes, par exemple autour de fréquences de résonance, ou lorsqu'un microphone à réponse en pression est comparé à un microphone à réponse en champ libre, cette approche peut donner lieu à des erreurs, si l'intention est de déterminer l'efficacité en pression à la fréquence d'essai plutôt que pour la bande de fréquences d'essai. Il est conseillé de tenir compte de la largeur de bande d'analyse afin d'éviter de telles erreurs. Généralement, une largeur de bande de 1/6^e-octave ou plus étroite est suffisante pour limiter toute erreur à moins de 0,01 dB. Cependant, il est conseillé de prendre des précautions supplémentaires concernant les réductions de bande passante trop importantes, comme elles peuvent se produire avec les analyseurs FFT (fast Fourier transform, transformation de Fourier rapide), puisqu'elles peuvent mettre en évidence des déficiences telles que des ondes stationnaires dans le champ acoustique, qui peuvent également donner lieu à des erreurs (voir [1]¹ pour de plus amples détails).

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

5.1.2 Principes généraux utilisant une excitation simultanée

Afin que les deux microphones soient exposés simultanément à une pression acoustique pratiquement identique, les surfaces avant des deux microphones doivent normalement être séparées par une faible fraction de la longueur d'onde correspondant à la fréquence la plus élevée du domaine considéré. Pour les fréquences allant jusqu'à 20 kHz, cela peut être réalisé en montant les deux microphones face à face, au moyen d'un coupleur ou d'un gabarit-support, de sorte qu'ils soient séparés d'environ 1 mm.

La séparation optimale entre des microphones dépend quelque peu de l'environnement acoustique, et il convient de la déterminer pour une disposition spécifique. Davantage d'informations sur les niveaux de performance possibles peuvent être consultées en [1]¹.

Les coupleurs comportent habituellement une source sonore intégrée; les microphones montés sur un gabarit-support sont habituellement exposés à un champ acoustique produit de manière externe. Afin de réduire les effets correspondant aux différences systématiques de pression acoustique existant entre l'emplacement des deux microphones, dus par exemple à des asymétries, la procédure suivante doit être utilisée: après avoir déterminé d'abord le rapport de l'efficacité en pression des microphones, ceux-ci doivent être permutés et la mesure répétée. L'efficacité est alors calculée à partir de la moyenne des deux rapports. Des exemples de dispositions pratiques ainsi que les précautions à prendre sont donnés à l'Annexe A.

NOTE La prévention de l'asymétrie et des ondes stationnaires dans le champ acoustique, notamment dans des configurations avec gabarit-support, a une incidence fortement bénéfique sur la fiabilité des résultats.

5.1.3 Principes généraux utilisant une excitation séquentielle

Pour que les deux microphones soient exposés successivement à une pression acoustique pratiquement identique, la permutation des microphones ne doit pas produire de variation importante de la pression acoustique, ou toute variation importante doit être détectée et corrigée. Cela peut être réalisé en incorporant au coupleur une source sonore, un microphone de contrôle et le microphone de référence, puis le microphone en essai. Dans la conception du coupleur, le microphone de contrôle doit être capable de déterminer avec précision les variations de la pression acoustique à l'emplacement du microphone de référence ou du microphone en essai. Des exemples de dispositions pratiques sont donnés à l'Annexe B.

5.2 Mesure des tensions de sortie des microphones

Le signal de sortie du microphone en essai ou du microphone de référence peut être déterminé en tant que tension en circuit ouvert en utilisant la technique de la tension insérée (voir 5.3 de l'IEC 61094-2:2009) ou en utilisant un système de mesure constitué d'un préamplificateur de microphone à haute impédance d'entrée et d'un voltmètre (voir Annexe C).

La méthode utilisée pour mesurer la tension de sortie du microphone en essai doit être indiquée dans tous les certificats d'étalonnage.

6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression

6.1 Généralités

L'efficacité en pression d'un microphone de mesure peut dépendre des conditions ambiantes. De plus, la définition de l'efficacité en pression implique que les conditions de mesure satisfassent à un certain nombre d'exigences. Il est essentiel que ces conditions soient suffisamment bien maîtrisées pendant l'étalonnage, lorsque les composantes d'incertitude qui en résultent doivent rester de faible importance.

6.2 Mécanisme d'égalisation de pression des microphones

Dans la structure normale d'un microphone de mesure, la cavité située derrière la membrane est dotée d'un tube étroit d'égalisation de pression afin que la pression statique soit identique sur les deux faces de la membrane. Par conséquent, aux très basses fréquences, ce tube égalise aussi partiellement la pression acoustique. Si, lors de l'étalonnage, un son cohérent avec celui appliqué sur la membrane apparaît au niveau du tube d'égalisation de pression, cela serait susceptible de modifier l'efficacité apparente aux basses fréquences. Le résultat ne correspondrait alors pas à l'efficacité en pression réelle.

Dans le cas d'un gabarit-support, où le tube d'égalisation de pression est exposé au son, l'amplitude de la variation doit être déterminée en comparant des étalonnages effectués à l'aide d'un gabarit-support à des étalonnages effectués au moyen d'un coupleur qui n'expose pas le tube d'égalisation de pression au champ acoustique.

Dans le cas de l'utilisation d'un coupleur, un joint torique peut être utilisé pour rendre étanche l'espace entre le coupleur et le microphone. Dans ces conditions, des précautions doivent être prises pour s'assurer que le joint torique n'exerce pas de force excessive sur le microphone et n'entraîne pas de variation de l'efficacité.

6.3 Tension de polarisation

Si le microphone en essai exige une tension de polarisation externe, la tension de polarisation utilisée pendant l'étalonnage doit être indiquée.

Si le microphone de référence exige une tension de polarisation externe, toute différence entre la tension appliquée au moment de son étalonnage et la tension appliquée au moment où il sert de microphone de référence doit être prise en compte dans les calculs de l'incertitude (voir Annexe D).

6.4 Configuration du blindage de référence

Quand la tension en circuit ouvert est mesurée, la configuration du blindage de référence donnée dans l'IEC 61094-1 ou l'IEC 61094-4 doit être utilisée.

Si un microphone est destiné à être utilisé avec un préamplificateur présentant une configuration de blindage de référence non normalisée, il doit alors être étalonné comme un système, avec son préamplificateur.

Si des étalonnages avec la technique de la tension insérée sont réalisés, le fait que la tension de sortie du microphone est appliquée au blindage (configuration de blindage entraîné) ou que le blindage est raccordé à la terre doit être indiqué.

Si le manuel d'instructions spécifie une force d'application maximale sur le contact électrique central du microphone, cette limite ne doit pas être dépassée.

6.5 Distribution de la pression sur les membranes

La définition de l'efficacité en pression suppose l'application uniforme de la pression acoustique sur la membrane. La tension de sortie produite quand la membrane du microphone est exposée à une pression non uniforme est différente de la tension de sortie produite par le microphone lorsque sa membrane est soumise à une pression acoustique uniforme ayant la même valeur moyenne, car le microphone est habituellement plus sensible à la pression acoustique appliquée au centre de sa membrane.

L'uniformité de la pression acoustique sur la membrane du microphone peut être optimisée en maintenant la symétrie radiale du champ acoustique autour de la circonférence des microphones. Ceci peut être réalisé en utilisant une source sonore présentant une symétrie radiale disposée coaxialement avec les microphones et, lorsque les microphones sont montés

sur un gabarit-support, avec les microphones placés dans le champ lointain de la source sonore. Même si une non-uniformité de la pression sur la surface de la membrane peut être minimisée en utilisant une source sonore présentant une symétrie radiale, il peut demeurer une non-uniformité résiduelle aux fréquences élevées, même avec une source idéale.

Il est difficile de maîtriser l'uniformité du champ acoustique dans une disposition d'étalonnage réel. Cependant, l'effet combiné des asymétries du champ acoustique et des microphones est mis en évidence en tournant les microphones l'un par rapport à l'autre autour de leur axe de symétrie. Ainsi, la composante associée à l'incertitude de mesure peut être réduite en moyennant les résultats de plusieurs de ces configurations de mesure.

NOTE Lorsque des microphones du même modèle sont comparés, l'exigence d'uniformité du champ acoustique est réduite à une exigence de symétrie de rotation du champ acoustique.

Par ailleurs, les problèmes de non-uniformité du champ acoustique peuvent être surmontés si l'excitation est réalisée à l'aide d'un champ acoustique diffus, par exemple dans une salle réverbérante. Il convient de veiller à éviter de créer des ondes stationnaires dans le champ acoustique autour des microphones, car celles-ci peuvent engendrer des erreurs de mesure importantes et imprévisibles. Une source à large bande, ou des mesures répétées à des positions différentes dans le champ, sont également nécessaires pour obtenir une incertitude de mesure suffisamment basse.

L'effet d'une non-uniformité de la pression sur la surface de la membrane est considérablement plus grand quand le microphone de référence et le microphone en essai sont de diamètres différents. Un modèle théorique qui peut être utilisé pour appliquer des corrections et estimer les incertitudes dans ce cas est donné dans les ouvrages de référence (par exemple [1]).

6.6 Influence des conditions ambiantes

L'efficacité d'un microphone peut dépendre de la pression statique, de la température et de l'humidité. Cette dépendance peut être déterminée par comparaison avec un microphone étalon de laboratoire bien caractérisé dans des conditions variées.

Si le microphone de référence et le microphone en essai sont des modèles de fabricants différents, l'efficacité du microphone de référence doit être corrigée aux conditions ambiantes réelles lors de l'essai. En revanche, s'ils sont du même modèle, il peut être avantageux de supposer qu'ils ont le même comportement vis-à-vis des conditions ambiantes, l'étalonnage du microphone en essai pouvant alors se référer aux conditions pour lesquelles l'étalonnage du microphone de référence est valide.

Par ailleurs, lorsque les résultats d'un étalonnage sont indiqués, l'efficacité en pression peut être corrigée aux conditions ambiantes de référence si des données fiables concernant les corrections sont disponibles.

Les conditions réelles de l'étalonnage doivent être indiquées.

6.7 Validation

Les étalonnages réalisés dans un gabarit-support ou un coupleur particulier doivent être validés par comparaison aux étalonnages effectués dans d'autres gabarits-supports ou coupleurs et d'autres sources sonores. Une validation distincte est nécessaire pour chaque type différent de microphone. Si le microphone en essai est un microphone étalon de laboratoire, la validation du gabarit-support ou du coupleur peut être obtenue en comparant un étalonnage avec un étalonnage par réciprocity. Il peut être nécessaire, pour certains microphones, d'utiliser plusieurs coupleurs et/ou gabarits-supports afin de couvrir une large plage de fréquences avec une faible incertitude.

7 Composantes d'incertitude d'un étalonnage

7.1 Généralités

En plus des facteurs influençant l'efficacité en pression mentionnés à l'Article 6, d'autres composantes d'incertitude sont introduites par la méthode, l'équipement et le degré de précaution pris au cours de l'étalonnage. Il convient de mesurer ou de calculer les facteurs qui affectent l'efficacité de manière connue, avec une exactitude aussi élevée que possible et nécessaire pour atteindre l'incertitude de mesure globale souhaitée, si leur influence doit être réduite le plus possible.

7.2 Efficacité du microphone de référence

L'incertitude sur l'efficacité du microphone de référence affecte directement l'incertitude de l'efficacité du microphone en essai.

7.3 Mesures des signaux de sortie du microphone

Les incertitudes de mesure de nature aléatoire ou variables en fonction du temps concernant les signaux de sortie des microphones affectent directement l'incertitude sur l'efficacité du microphone en essai.

Les incertitudes de mesure de nature systématique concernant les signaux de sortie des microphones peuvent affecter l'incertitude sur l'efficacité du microphone en essai. L'incertitude peut être réduite si le même système est utilisé à la fois pour le microphone en essai et le microphone de référence.

Si le microphone en essai et le microphone de référence sont mesurés simultanément, l'incertitude systématique peut être réduite à l'aide de la procédure décrite à l'Annexe C.

7.4 Différences entre la pression acoustique appliquée sur le microphone en essai et celle appliquée sur le microphone de référence

Que ce soit avec une excitation simultanée ou une excitation séquentielle, des différences entre l'impédance acoustique du microphone en essai et celle du microphone de référence peuvent entraîner des différences de pression acoustique sur le microphone en essai et sur le microphone de référence. Un modèle théorique qui peut être utilisé pour estimer l'incertitude qui en résulte peut être consulté dans les ouvrages de référence (voir par exemple [2]).

7.5 Impédances acoustiques des microphones

Si le microphone de référence et le microphone en essai présentent des impédances acoustiques fortement différentes (par exemple, des microphones à réponse en pression et à réponse en champ libre à des fréquences supérieures à 10 kHz), ils peuvent réagir différemment au même champ acoustique en raison de flux de vitesse acoustique différents au niveau des membranes. Il est recommandé d'utiliser dans la mesure du possible un microphone de référence présentant une impédance acoustique similaire à celle du microphone en essai utilisé. Si aucun microphone de référence adapté n'est disponible, il convient d'estimer l'ampleur de l'erreur provoquée et de l'ajouter au budget d'incertitude.

7.6 Distance de séparation des microphones

Il convient de déterminer la distance de séparation idéale entre les microphones utilisée lors de mesures d'excitation simultanées pour chaque environnement acoustique dans lequel des mesures de gabarit-support doivent être effectuées. La distance peut être déterminée en effectuant une série de mesures à différentes séparations et en comparant les résultats avec un étalonnage en pression primaire pour le même microphone. Les mesures effectuées dans certains champs acoustiques peuvent être très sensibles à de très faibles variations de distance de séparation des microphones et de position des microphones par rapport au champ acoustique. Dans ces cas, il est préférable d'améliorer le champ acoustique plutôt que

le système de positionnement, car un système de positionnement très reproductible peut entraîner des erreurs systématiques répétables qui ne sont pas facilement détectées.

7.7 Capacité du microphone

Avec certaines méthodes d'étalonnage (par exemple l'approche décrite dans l'Annexe C), le gain du ou des préamplificateur(s) utilisé(s) est supposé constant lors d'une installation avec différents microphones. Cependant, le gain du préamplificateur dépend généralement de la capacité du microphone associé.

Par conséquent, il convient d'apporter une correction ou de tenir compte d'une composante d'incertitude si les capacités du microphone de référence et du microphone en essai sont suffisamment différentes pour que l'influence sur le gain du préamplificateur soit significative.

NOTE Cet effet est évité si la technique de la tension insérée est utilisée.

7.8 Configuration du microphone pendant l'étalonnage

Il peut être nécessaire d'installer un microphone doté d'un ou de plusieurs adaptateurs convenant à un coupleur ou à une configuration d'étalonnage spécifique. Ces adaptateurs peuvent avoir une influence sur l'efficacité du microphone, et cet aspect doit être inclus comme une composante d'incertitude.

NOTE Les microphones de référence comme les microphones en essai peuvent être influencés par l'installation d'adaptateurs.

7.9 Incertitude sur le niveau d'efficacité en pression

Lors de la détermination du niveau d'efficacité en pression d'un microphone étalon de travail, et lorsque le microphone de référence a été étalonné conformément à l'IEC 61094-2, il est estimé qu'un étalonnage par comparaison de microphones de même diamètre peut entraîner une incertitude élargie avec un facteur d'élargissement égal à 2 (voir le Guide ISO/IEC 98-3), d'environ 0,1 dB aux fréquences basses et moyennes. L'incertitude croît jusqu'à environ 0,2 dB à 10 kHz et 20 kHz respectivement pour des microphones étalons de travail de type WS1P (*Working Standard, 1", pressure* – Étalon de travail, 1", pression) et WS2P (*Working Standard, 1/2", pressure* – Étalon de travail, 1/2", pression). L'Annexe D contient un exemple d'analyse d'incertitude.

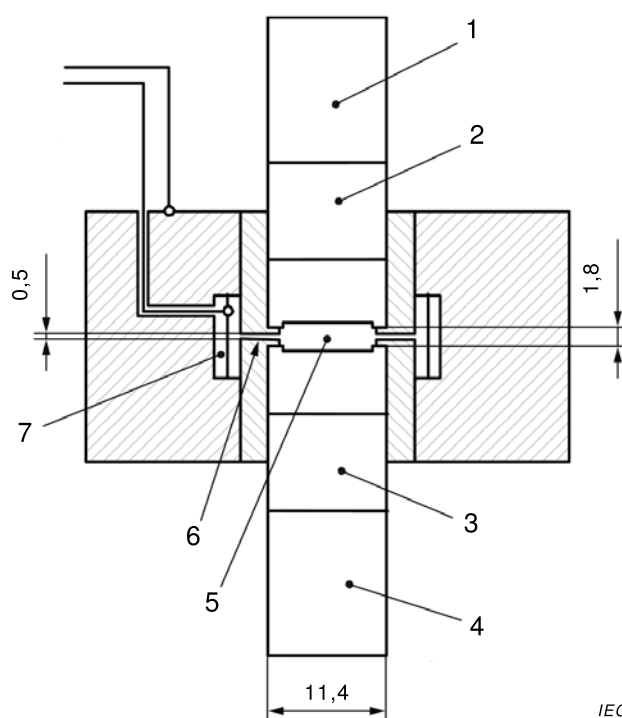
Annexe A (informative)

Exemples de coupleurs et de gabarits-supports pour une excitation simultanée

A.1 Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2 pour les fréquences allant jusqu'à 10 kHz

Le coupleur représenté à la Figure A.1 permet de disposer face à face deux microphones dont les membranes non protégées sont séparées d'environ 2 mm. Le coupleur contient une source à membrane cylindrique qui produit un champ acoustique à symétrie radiale entre les membranes. Dans cet exemple, la grille du microphone en essai a été enlevée et remplacée par une bague d'adaptation de façon à lui donner la configuration d'un microphone de type LS2 (*Laboratory Standard, 1/2"* – Étalon de laboratoire, 1/2"). Des variations basées sur le même principe pourraient comporter un coupleur de diamètre légèrement plus grand où le microphone en essai serait maintenu autrement.

Dimensions en millimètres



IEC

Légende

- 1 Préamplificateur A
- 2 Microphone A
- 3 Microphone B
- 4 Préamplificateur B
- 5 Cavité du coupleur, diamètre 9,3 mm
- 6 Entrée de l'onde acoustique
- 7 Membrane cylindrique

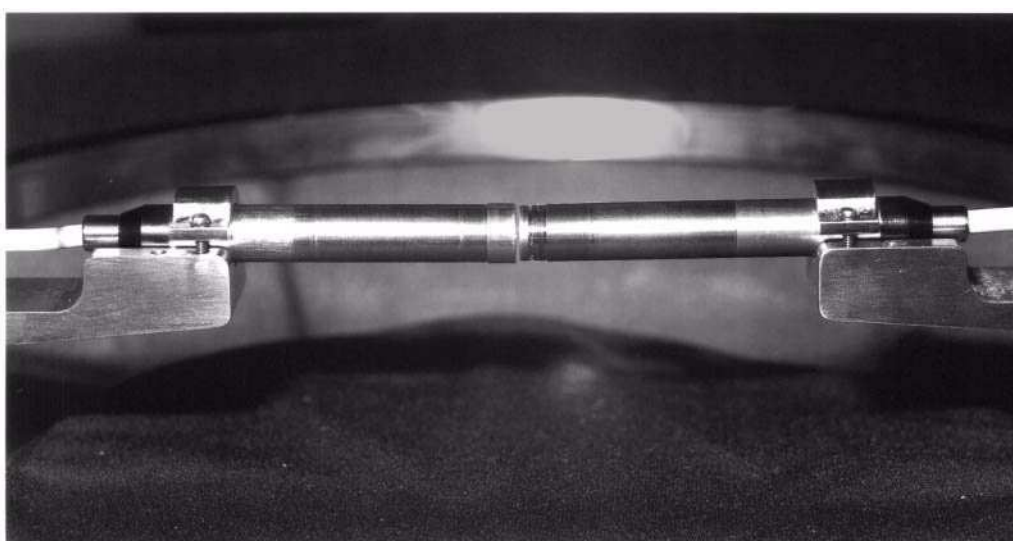
Figure A.1 – Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2

Cette méthode peut aussi être utilisée sans enlever la grille de protection du microphone en essai à condition qu'il soit tenu compte de la présence de cette grille dans le calcul des

incertitudes. La grille peut donner lieu à un niveau d'incertitude de mesure inacceptable à des fréquences élevées, réduisant ainsi efficacement la plage de fréquences sur laquelle le coupleur peut être utilisé.

A.2 Gabarit-support utilisable avec les microphones de type WS2 ou WS3 pour les fréquences allant jusqu'à 20 kHz

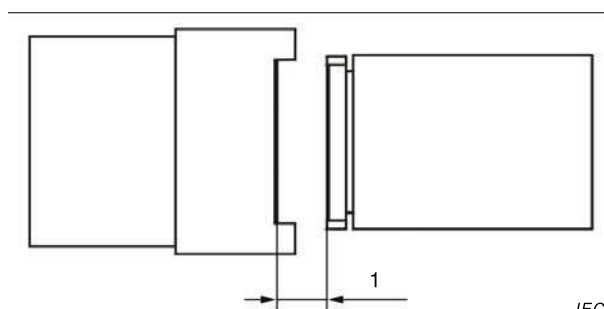
Une disposition simple pour tenir et positionner un microphone de type LS2 et un microphone de type WS2 de façon convenable pour un étalonnage simultané est donnée par la Figure A.2. Le gabarit-support est enfermé dans une chambre acoustique, un haut-parleur étant utilisé comme source sonore. L'emplacement préférable pour la source sonore est situé sur l'axe de symétrie des microphones. L'emplacement détaillé pour les microphones WS2 et WS3 est respectivement représenté aux Figures A.3 et A.4. À noter que les grilles de protection ont été enlevées.



IEC

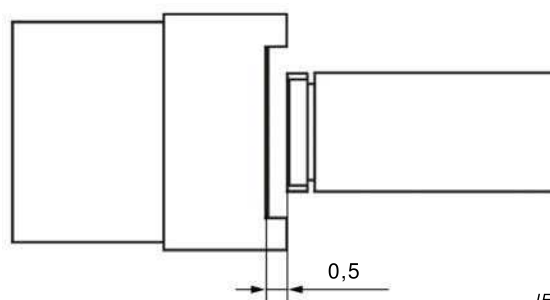
Figure A.2 – Gabarit-support adapté au couplage d'un microphone de type LS2 et d'un microphone de type WS2

Dimensions en millimètres



IEC

NOTE La dimension mentionnée est la distance séparant les membranes.



IEC

NOTE La dimension mentionnée est la distance séparant les membranes. Cette distance de séparation est la seule pour laquelle les corrections spécifiées au Tableau A.1 sont valables.

Figure A.3 – Exemple de disposition de microphones de type LS2 et WS2 à l'aide d'un gabarit-support

Figure A.4 – Exemple de disposition de microphones de type LS2 et WS3 à l'aide d'un gabarit-support

Lorsque la disposition de la Figure A.4 est utilisée, les corrections doivent tenir compte de l'efficacité radiale des microphones et du fait que le microphone en essai est plus petit que le

microphone de référence. Le Tableau A.1 donne les corrections à ajouter au niveau d'efficacité du microphone de type WS3, en partant du principe que le microphone de référence est de type LS2aP (voir [1]) et que le champ acoustique présente une symétrie radiale. L'incertitude élargie sur les corrections est estimée égale à 10 % de sa valeur (en dB) correspondant approximativement à la variation observée en doublant la distance entre les microphones.

Si l'onde n'arrive pas selon l'axe de symétrie du gabarit-support, il convient de prendre la moyenne des mesures effectuées pour différentes directions d'incidence. Un moyen pratique d'y parvenir consiste à utiliser un champ acoustique diffus.

Tableau A.1 – Corrections calculées à ajouter au niveau d'efficacité d'un microphone de type WS3 lors de l'utilisation de la disposition de la Figure A.4

Fréquence kHz	Correction dB
1	-0,004
1,25	-0,006
1,6	-0,009
2	-0,015
2,5	-0,023
3,15	-0,036
4	-0,059
5	-0,092
6,3	-0,146
8	-0,235
10	-0,367
12,5	-0,572
16	-0,933
20	-1,443
NOTE L'incertitude élargie est estimée à $1/10^{\circ}$ de la valeur de la correction (en décibels).	

Annexe B (informative)

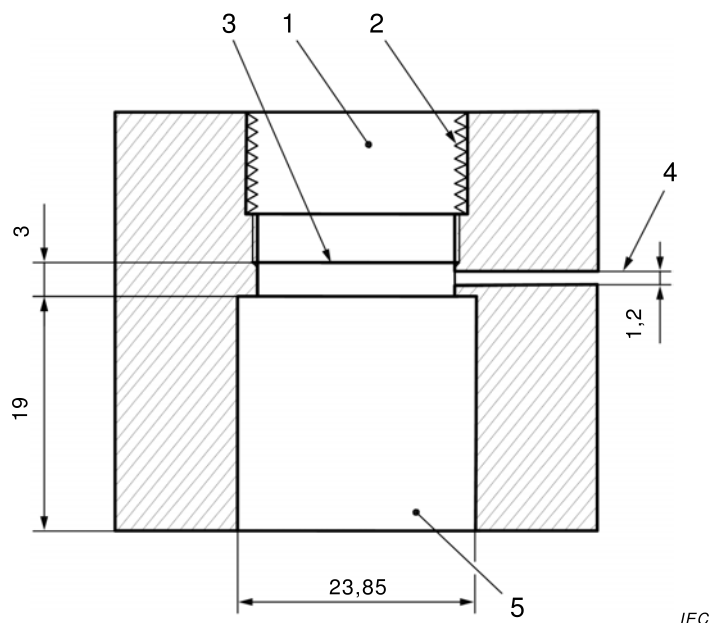
Exemples de coupleurs pour une excitation séquentielle

B.1 Coupleur utilisable avec les microphones de type LS1 pour les fréquences allant jusqu'à 8 kHz

Un coupleur conçu pour l'utilisation des microphones de type LS1 (*Laboratory Standard, 1" – Étalon de laboratoire, 1"*) est représenté à la Figure B.1. Un microphone de type WS1P, utilisé comme source sonore, est vissé directement sur la partie supérieure du coupleur, sans grille de protection ni adaptateur. Le tube d'un microphone sonde est inséré dans la paroi du coupleur de sorte que l'extrémité de la sonde soit située, à partir de la paroi de la cavité, à une distance correspondant au tiers d'un rayon; ce microphone sonde est utilisé pour réguler la pression acoustique dans le coupleur. L'impédance acoustique du microphone sonde peut affecter les résultats, mais un tube ayant une impédance acoustique égale à $800 \text{ MPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$ a été utilisé avec succès. Le microphone en essai et le microphone de référence sont maintenus sur le coupleur à l'aide d'un étrier et d'un dispositif à ressort.

Si le microphone en essai et le microphone de référence sont tous les deux de type WS1, transformés selon la configuration d'un microphone de type LS1 au moyen d'une bague d'adaptation, il convient d'utiliser la même bague d'adaptation pour les deux microphones.

Dimensions en millimètres



Légende

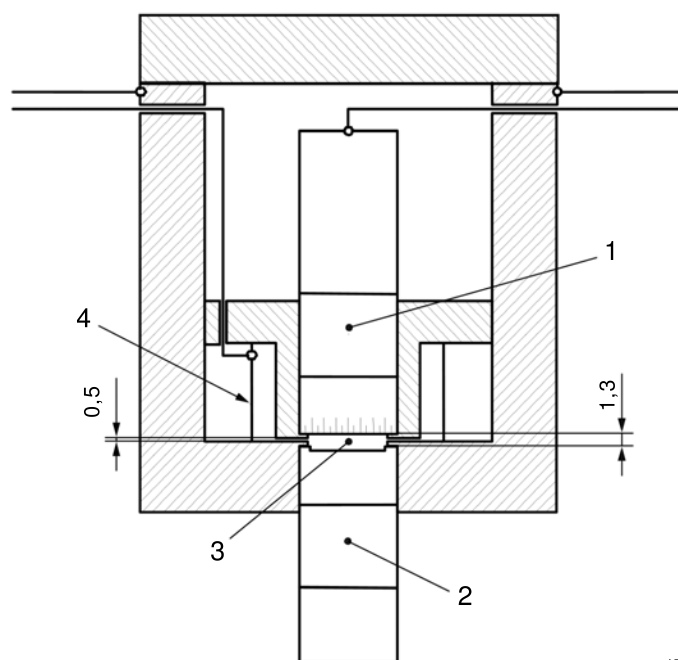
- 1 Emplacement du microphone source
- 2 Filetage de fixation du microphone source
- 3 Position de la membrane du microphone source
- 4 Tube du microphone sonde
- 5 Emplacement du microphone en essai et du microphone de référence

Figure B.1 – Coupleur utilisable avec les microphones de type LS1

B.2 Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2 pour les fréquences allant jusqu'à 16 kHz

La Figure B.2 représente un coupleur qui peut être utilisé pour un étalonnage par comparaison de microphones de type WS2 en excitation séquentielle. Une source formée d'une membrane cylindrique engendre un champ acoustique à symétrie radiale, et un microphone de contrôle mesure la variation de la pression acoustique quand le microphone en essai est remplacé par le microphone de référence.

Dimensions en millimètres



IEC

Légende

- 1 Microphone de contrôle
- 2 Microphone en essai ou microphone de référence
- 3 Cavité du coupleur, diamètre 9,3 mm
- 4 Membrane cylindrique

Figure B.2 – Coupleur utilisable avec les microphones de type WS2

Cette méthode peut aussi être utilisée sans enlever la grille de protection du microphone en essai à condition qu'il soit tenu compte de la présence de cette grille dans le calcul des incertitudes.

Annexe C (informative)

Détermination de l'efficacité en circuit ouvert d'un microphone de mesure sans utilisation de la technique de la tension insérée

Quand un étalonnage par comparaison est effectué, l'efficacité en circuit ouvert du microphone en essai peut être déterminée sans utiliser la technique de la tension insérée. L'efficacité en circuit ouvert du microphone de référence doit être connue et une correction (ou une incertitude) introduite pour toute différence due au fait que le microphone en essai et le microphone de référence présentent une impédance de source électrique différente par rapport au préamplificateur. Le principe consiste à permuter les microphones entre les deux voies de mesure et à répéter les mesures; ainsi, les influences des gains de chaque voie (et d'autres effets systématiques) peuvent être éliminées. Cela peut être démontré comme suit.

Dans le cas de deux microphones dont les membranes sont face à face, proches l'une de l'autre, et dont les niveaux de sortie respectifs sont lus sur deux voies de mesure, la différence des niveaux, L_{C12} , entre les deux voies (en ignorant toute influence de la capacité du microphone) est

$$L_{C12} = (L_1 + L_{m1} + L_{d1} + L_{WA}) - (L_2 + L_{m2} + L_{d1} + L_{WB}) \quad (C.1)$$

où

L_1 et L_2 désignent le niveau d'efficacité en pression des microphones;

L_{m1} et L_{m2} désignent le gain des systèmes de mesure;

L_{d1} est le niveau de pression acoustique créé par la source au point central situé à mi-distance des membranes des microphones;

L_{WA} représente la différence entre le niveau de pression acoustique sur la membrane du microphone positionnée en A et L_{d1} ;

L_{WB} représente la différence entre le niveau de pression acoustique sur la membrane du microphone positionnée en B et L_{d1} .

L'Équation (C.1) suppose que les microphones n'ont pas une efficacité similaire, mais qu'ils sont par ailleurs identiques en ce qui concerne leurs caractéristiques mécaniques et électroacoustiques.

Quand les microphones sont permutés, la différence des niveaux de sortie des deux voies est

$$L_{C21} = (L_2 + L_{m1} + L_{d2} + L_{WA}) - (L_1 + L_{m2} + L_{d2} + L_{WB}) \quad (C.2)$$

où

L_{d2} est le niveau de pression acoustique créé par la source au point central situé à mi-distance des membranes des microphones.

À partir de la différence entre l'Équation (C.1) et l'Équation (C.2), la différence de niveau d'efficacité entre les deux microphones est

$$(L_1 - L_2) = \frac{1}{2}(L_{C12} - L_{C21}) \quad (C.3)$$

Si L_1 est le niveau d'efficacité en pression d'un microphone de référence, le niveau d'efficacité en pression L_2 du microphone en essai peut alors en être déduit sans connaître L_{m1} , L_{m2} , L_{d1} , L_{d2} , L_{WA} ou L_{WB} .

Annexe D (informative)

Analyse typique d'incertitude

D.1 Généralités

Ce qui suit est un exemple de calcul d'incertitude pour un étalonnage effectué selon un protocole hypothétique particulier. Il convient de ne pas considérer cet exemple comme une liste exhaustive des composantes d'incertitude possibles, ou comme une indication de valeurs typiques d'incertitude.

D.2 Analyse

Les incertitudes données au Tableau D.1 sont calculées pour l'exemple d'un étalonnage par comparaison simultanée d'un microphone de faible efficacité de type WS2P au moyen d'un microphone de référence de type LS2P. Le coupleur de la Figure A.1 est utilisé, et l'étalonnage est répété trois fois. Une permutation des microphones aux emplacements d'entrée de la cavité du coupleur et une permutation des préamplificateurs associés aux microphones sont effectuées, afin d'éliminer les effets dus à une asymétrie des coupleurs et à une différence de gain des deux voies de mesures (voir Annexe C). Les résultats ne se réfèrent pas aux conditions ambiantes de référence.

L'efficacité M_{test} du microphone en essai est calculée d'après la formule:

$$M_{\text{test}} = M_{\text{ref}} \times R_V / R_P$$

où

M_{ref} est l'efficacité en pression du microphone de référence;

R_V est le rapport des tensions de sortie du microphone en essai et du microphone de référence;

R_P est le rapport des pressions acoustiques effectivement appliquées sur les deux microphones. R_P est souvent pris égal à 1 en suivant le mode opératoire décrit à l'Annexe C et en appliquant les corrections telles que celles données à l'Annexe B, mais des incertitudes résiduelles sont présentes.

Dans cet exemple, les valeurs sont uniquement données pour une fréquence égale à 2 kHz. Dans la pratique, le calcul est répété pour chaque fréquence utilisée. L'incertitude indiquée est basée sur une incertitude-type multipliée par un facteur d'élargissement $k = 2$, donnant un niveau de confiance approximativement égal à 95 %.

L'incertitude de mesure provient de huit sources différentes, mais des composantes supplémentaires peuvent être exigées dans des dispositions ou des configurations de microphone spécifiques. La composante due à la répétabilité est identifiée comme une incertitude de type B selon un grand nombre de mesures semblables, les autres composantes sont également identifiées comme incertitudes de type B. L'hypothèse retenue est que l'efficacité du microphone dépend linéairement de chaque composante et que l'étalonnage du microphone de référence se réfère aux conditions de mesure réelles.

Tableau D.1 – Exemple de budget d'incertitude

Composante	Incertitude- type dB
<p>Efficacité du microphone de référence</p> <p>L'incertitude associée à l'étalonnage du microphone étalon de laboratoire utilisé comme référence est donnée égale à $\pm 0,05$ dB dans le certificat d'étalonnage, avec un facteur d'élargissement de $k = 2$. Cela équivaut à une incertitude-type de $0,05/2$ dB = 0,025 dB.</p>	0,025
<p>Capacité du microphone</p> <p>Puisque la technique de la tension insérée n'est pas utilisée et que les préamplificateurs utilisés dans le système de mesure ont une capacité d'entrée différente de zéro, la mesure est fonction de la capacité du microphone. Dans un étalonnage par comparaison, cet effet est annulé si le microphone en essai et le microphone de référence ont la même capacité nominale. Cependant, quand ce n'est pas le cas, une incertitude est prise en considération. En connaissant l'impédance d'entrée des préamplificateurs et les données du fabricant sur la capacité des microphones, il peut être calculé que, pour ce cas particulier, la demi-étendue de cette composante est de 0,01 dB avec une distribution rectangulaire. Cela équivaut à une incertitude-type de $0,01/\sqrt{3}$ dB = 0,006 dB.</p>	0,006
<p>Non-linéarité</p> <p>La réponse de l'analyseur à des signaux d'amplitudes différentes pourrait être fautive dans une faible mesure. Des essais de l'analyseur sont effectués avec deux atténuateurs étalonnés différents qui sont réglés séparément pour simuler les différences de niveaux attendues dans un étalonnage réel. Un étalonnage des microphones peut uniquement être effectué si la différence entre le résultat de ces essais et les valeurs connues des atténuateurs reste dans les limites de 0,03 dB. La demi-étendue de cette composante est alors de 0,03 dB avec une distribution rectangulaire. Cela équivaut à une incertitude-type de $0,03/\sqrt{3}$ dB = 0,017 dB.</p>	0,017
<p>Impédance acoustique du microphone</p> <p>L'impédance acoustique du microphone se place en série avec celle de l'air compris dans l'espace existant entre les deux microphones. Des microphones présentant des impédances acoustiques différentes voient donc des pressions légèrement différentes quand ils sont exposés simultanément au même champ acoustique (voir 7.4 et [2]). L'amplitude de l'effet lors d'une comparaison entre des microphones haute efficacité et faible efficacité de type WS2P constitue un cas le plus défavorable et est considérée dans cet exemple comme l'incertitude. À 2 kHz, la demi-étendue de cette composante est de 0,005 dB avec une distribution rectangulaire. Cela équivaut à une incertitude-type de $0,005/\sqrt{3}$ dB = 0,003 dB. Si les microphones présentent des impédances acoustiques fortement différentes (par exemple, un microphone WS2F [<i>Working Standard, 1/2", free-field</i> – Étalon de travail, 1/2", champ libre] comparé à un microphone LS2P [<i>Laboratory Standard, 1/2", pressure</i> – Étalon de laboratoire, 1/2", pression] à des fréquences supérieures à 10 kHz), l'incertitude de mesure peut être largement supérieure et il convient de l'établir de façon expérimentale.</p>	0,003
<p>Tension de polarisation</p> <p>La tension de polarisation affecte l'efficacité, à la fois du microphone de référence et du microphone en essai. Si la même tension de polarisation est appliquée sur les deux microphones, l'effet est négligeable. Cependant, si l'un des microphones est prépolarisé, ce n'est pas le cas et l'erreur persiste. La tension de polarisation est réglée à $(200,0 \pm 0,2)$ V conduisant à une demi-étendue pour cette composante de $20 \lg(200,2/200)$ dB avec une distribution rectangulaire. Cela équivaut à une incertitude-type de 0,005 dB.</p>	0,005
<p>Répétabilité</p> <p>Obtenu à partir de l'incertitude-type des résultats d'un grand nombre de mesures similaires.</p>	0,025
<p>Dérive de l'efficacité du microphone de référence depuis le dernier étalonnage</p> <p>L'efficacité du microphone de référence peut avoir changé depuis son étalonnage. Deux microphones de référence étalonnés sont comparés pour vérification avant l'étalonnage des microphones en essai. Il convient que l'étalonnage de comparaison et l'étalonnage de référence du microphone de référence ne diffèrent pas de plus de 0,03 dB. Cependant, la valeur utilisée pendant un étalonnage doit être réduite par l'incertitude associée à la mesure de comparaison. L'incertitude-type de cette composante est de $0,03/\sqrt{3}$ dB = 0,017 dB.</p>	0,017
<p>Arrondissement des résultats indiqués</p> <p>Le résultat est indiqué avec une résolution de 0,01 dB, donnant une demi-étendue de 0,005 dB avec une distribution rectangulaire. Cela équivaut à une incertitude-type de $0,005/\sqrt{3}$ dB = 0,003 dB.</p>	0,003

Composantes supplémentaires pour des cas spécifiques	Incertitude-type dB
<p>Corrections concernant la différence de diamètre de membrane lors de l'étalonnage d'un microphone de type WS3 par rapport à un microphone de référence de type LS2.</p> <p>L'incertitude élargie directement associée à la correction calculée est estimée à 10 % de la valeur de la correction (en décibels).</p> <p>La différence non prise en considération entre l'étalonnage de comparaison corrigé d'un microphone WS2 par rapport à un microphone de référence LS1 et un étalonnage par réciprocité en pression du même microphone WS2 effectué pour valider la méthode.</p> <p>L'incertitude associée aux variations des diamètres de la membrane et du microphone des modèles de microphones WS3.</p>	<p>Dépendant de la fréquence</p> <p>(voir Tableau A.1)</p>
<p>Incertitudes associées aux étalonnages du système</p>	<p>0,002</p>
<p>Si des microphones sont étalonnés comme un système (c'est-à-dire conjointement avec un préamplificateur), l'effet dû à tout écart de 200 V de la tension de polarisation fournie par l'unité d'alimentation n'est pas annulé pendant la mesure.</p> <p>Il convient de considérer à nouveau la composante associée à la capacité du microphone comme représentant la capacité présentée par le système de microphone à chacun des préamplificateurs du système de mesure.</p>	<p>Dépendant de la fréquence</p> <p>< 0,02 au-dessus de 200 Hz</p>

D.3 Incertitude composée et incertitude élargie

L'incertitude-type composée est obtenue par la somme quadratique des composantes d'incertitude, ce qui donne une valeur de 0,040 dB (un calcul rigoureux nécessiterait la conversion de chacune des composantes de la forme logarithmique à la forme linéaire avant d'effectuer la combinaison; dans la mesure où les valeurs sont très faibles, cela conduirait au même résultat). L'incertitude élargie, avec un facteur d'élargissement égal à 2, est alors égale à 0,08 dB.

Bibliographie

- [1] BARHAM R., BARRERA-FIGUEROA S. and AVISON J. E. M., Secondary pressure calibration of measurement microphones. *Metrologia*. 51. 2014.
 - [2] JARVIS D.R., Methods for determining the pressure sensitivity of working standard microphones – a report on Euromet project A311. NPL report CIRA(EXT)010, 1996.
 - [3] FEDTKE T., Investigation of secondary pressure calibration methods for the phase response of measurement microphones. *Acustica* 82, Suppl 1, S 174, 1996.
 - [4] JARVIS D.R. and WATKINS S.A., Methods for determining the pressure sensitivity of IEC type WS3 measurement microphones. NPL report CIRA(EXT)022, 1997.
 - [5] WONG G.S.K., LIXUE W., Interchange microphone method for calibration by comparison. *Internoise* 98.
 - [6] WONG G.S.K., EMBLETON T.F.W., Three-port two-microphone cavity for acoustical calibrations. *J. Acoust. Soc. Am.* 71, p. 1276-1277, 1982.
 - [7] WONG G.S.K., Precision method for phase match of microphones. *J. Acoust. Soc. Am.* 90, p. 1253-1255, 1991.
 - [8] IEC 61094-2:2009, *Electroacoustique – Microphones de mesure – Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité*
 - [9] Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM: 1995)*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch