

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement microphones –
Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity of working standard
microphones by comparison**

**Microphones de mesure –
Partie 8: Méthodes pour la détermination de l'efficacité en champ libre par
comparaison des microphones étalons de travail**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI 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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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



**Measurement microphones –
Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity of working standard
microphones by comparison**

**Microphones de mesure –
Partie 8: Méthodes pour la détermination de l'efficacité en champ libre par
comparaison des microphones étalons de travail**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 17.140.50

ISBN 978-2-83220-380-4

**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	7
4 Reference environmental conditions	8
5 Principles of free-field calibration by comparison	8
5.1 General principle	8
5.2 General principles using sequential excitation	8
5.3 General principles using simultaneous excitation.....	8
6 General requirements	9
6.1 The test space.....	9
6.2 Methods of establishing the free-field	9
6.2.1 General	9
6.2.2 Using a test space with sound absorbing surfaces.....	9
6.2.3 Time selective methods for obtaining the free-field sensitivity.....	10
6.3 The sound source.....	10
6.4 Reference microphone	11
6.5 Monitor microphone.....	12
6.6 Test signals.....	12
6.7 Configuration for the reference microphone and microphone under test	13
7 Factors influencing the free-field sensitivity	13
7.1 General.....	13
7.2 Polarizing voltage.....	13
7.3 Acoustic centre of the microphone.....	13
7.4 Angle of incidence and alignment with the sound source	14
7.5 Mounting configuration	14
7.6 Dependence on environmental conditions.....	14
8 Calibration uncertainty components	14
8.1 General.....	14
8.2 Sensitivity of the reference microphone	15
8.3 Measurement of the microphone output.....	15
8.4 Differences between the sound pressure applied to the reference microphone and to the microphone under test	15
8.5 Influence of indirect sound	15
8.6 Influence of signal processing	16
8.7 Influence of microphone characteristics and measurement system performance	16
8.7.1 Microphone capacitance	16
8.7.2 Measurement system non-linearity	16
8.7.3 Validation of calibration system	16
8.8 Uncertainty on free-field sensitivity level.....	16
Annex A (informative) Basic substitution calibration in a free-field chamber	18
Annex B (informative) Time selective techniques	22
Bibliography.....	30

Figure A.1 – Illustration of source and receiver setup in a free-field room, where the monitor microphone has been integrated into the loudspeaker	18
Figure A.2 – Practical implementation in a hemi-anechoic room with a source flush-mounted in the floor	19
Figure A.3 – Examples of loudspeaker sources	21
Figure B.1 – Illustration of set-up for measurement with time selective techniques.....	23
Table 1 – Calibration options for the reference microphone and associated typical measurement uncertainty.....	12
Table 2 – Typical uncertainty components	17

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT MICROPHONES –

**Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity
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 61094-8 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

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

CDV	Report on voting
29/752/CDV	29/759/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 the parts in the IEC 61094 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 web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

MEASUREMENT MICROPHONES –

Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity of working standard microphones by comparison

1 Scope

This part of the IEC 61094 series is applicable to working standard microphones meeting the requirements of IEC 61094-4. It describes methods of determining the free-field sensitivity by comparison with a laboratory standard microphone or working standard microphone (where applicable) that has been calibrated according to either:

- IEC 61094-3,
- IEC 61094-2 or IEC 61094-5, and where factors given in IEC/TS 61094-7 have been applied,
- IEC 61094-6,
- this part of IEC 61094.

Methods performed in an acoustical environment that is a good approximation to an ideal free-field (e.g. a high quality free-field chamber), and methods that use post processing of results to minimise the effect of imperfections in the acoustical environment, to simulate free-field conditions, are both covered by this part of IEC 61094. Comparison methods based on the principles described in IEC 61094-3 are also possible but beyond the scope of this part of IEC 61094.

NOTE 1 This part of IEC 61094 is also applicable to laboratory standard microphones meeting the requirements of IEC 61094-1, noting that these microphones also meet the electroacoustic specifications for working standard microphones.

NOTE 2 This part of IEC 61094 is also applicable to combinations of microphone and preamplifier where the determined sensitivity is referred to the unloaded output voltage of the preamplifier.

NOTE 3 Other devices, for example, sound level meters can be calibrated using the principles of this part of IEC 61094, but are not within the scope of this standard.

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 61094-2, *Electroacoustics – Measurement microphones – Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique*

IEC 61094-3, *Measurement microphones – Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique*

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

IEC 61094-5, *Measurement microphones – Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison*

IEC 61094-6, *Measurement microphones – Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response*

IEC/TS 61094-7, *Measurement microphones – Part 7: Values for the difference between free-field and pressure sensitivity levels of laboratory standard microphones*

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

ISO 26101, *Acoustics – Test methods for the qualification of free-field environments*

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the terms and definitions given in IEC 61094-1 and IEC 61094-3, as well as the following apply.

3.1

reference microphone

laboratory standard microphone or working standard microphone where the free-field sensitivity has been previously determined

3.2

microphone under test device under test

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

Note 1 to entry: Other devices, for example, sound level meters, can be calibrated using the principles of this part of IEC 61094, but are not within the scope of this standard.

3.3

monitor microphone

microphone used to detect changes in sound pressure in the test environment

3.4

microphone reference point

point specified on the microphone or close to it, to describe the position of the microphone

Note 1 to entry: The microphone reference point may be at the centre of the diaphragm of the microphone.

3.5

reference direction

inward direction toward the microphone reference point and specified for determining the acoustical response and directional response

Note 1 to entry: The reference direction may be specified with respect to an axis of symmetry.

3.6

angle of incidence

angle between the reference direction and a line between the acoustic centre of a sound source and the microphone reference point

Note 1 to entry: Angle of incidence is expressed in degrees.

4 Reference environmental conditions

The reference environmental conditions are:

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

5 Principles of free-field calibration by comparison

5.1 General principle

When a calibrated reference microphone and a microphone under test are exposed to the same free-field sound pressure, either simultaneously or sequentially, and under the same environmental conditions, then the ratio of their free-field sensitivities for those conditions is given by the ratio of their open-circuit output voltages. Then, both the modulus and phase of the free-field sensitivity of the microphone under test can be calculated from the known free-field sensitivity of the reference microphone. However, determination of the phase of the free-field sensitivity requires the definition of consistent reference phases at the acoustic centres of the microphones.

At some frequencies, the measured free-field sensitivity of a microphone is strongly dependent on the mounting configuration and results for the microphone cannot be considered in isolation to the mounting configuration used (see 6.7).

The principle of the method also allows the microphone under test to be attached to measuring equipment, e.g. a particular preamplifier, and the sensitivity may be referred to the unloaded output of that measuring equipment.

5.2 General principles using sequential excitation

In order for the two microphones to be sequentially exposed to essentially the same sound pressure, the output of the sound source and the environment conditions should not change. Where there is potential for changes in the sound field, this shall be detected and corrected for, for example by using a monitor microphone. Examples of practical arrangements are given in Annex A.

NOTE In principle it is possible to substitute a number of microphones under test sequentially into the sound field once the reference sound field has been established, but this places greater demands on the stability and spatial uniformity of the sound source and can increase the measurement uncertainty.

5.3 General principles using simultaneous excitation

Simultaneous exposure of the reference and one or more microphones under test to the sound field overcomes the issue of the sound field changing with time, but requires identification of different points in the sound field where the sound pressures are the same. This may be achieved by configuring the test space and sound source to ensure a symmetrical sound field. If the effects of perturbations in the sound source are to be eliminated, it is essential that the output voltages from the microphone under test and the reference microphone be measured simultaneously when determining the open-circuit output voltage ratio.

In simultaneous comparison calibration, it is important that the presence of the reference microphone does not disturb the field incident on the microphone under test, and vice versa.

The requirement for the source to provide two or more points in the sound field where the sound pressure is expected to be the same, places severe demands on the stability of the source's directional characteristics. It may only be possible to achieve this by relaxing uncertainty requirements or by developing a source especially for this purpose.

6 General requirements

6.1 The test space

The test space shall be as free as possible of any effects that cause instabilities in the sound field, for example between measurements with the microphone under test and the reference microphone. These include changing environment conditions, air flows, thermal gradients and electro-magnetic disturbances.

The test space shall have a level of background noise and vibration that enables the measurements to meet the signal-to-noise requirements of the measurement system used. In practice steps should be taken to reduce the background noise as much as possible.

NOTE Heat sources in the test space can lead to some of the types of disturbance described above.

6.2 Methods of establishing the free-field

6.2.1 General

There are two general approaches that can be taken in making free-field measurements. The first is to create an environment that attempts to establish a free field by using a test space with sound absorbing surfaces to prevent reflections of the sound coming directly from the source. The second is to use signal processing methods that enable the removal of signal content corresponding to indirectly received sound, thus simulating a free-field environment. There are many ways to implement both of these approaches. They can also be used in combination for the most demanding measurements.

6.2.2 Using a test space with sound absorbing surfaces

Options for realising a true free-field environment range from free-field rooms (also known as anechoic chambers) to smaller scale enclosures and test boxes.

A free-field room typically has its surfaces covered with sound absorbing material, configured to present a gradually changing acoustic impedance to an incident sound wave. Often this is in the form of wedges that protrude into the room, though other configurations can be used. The depth of this absorbent layer, as well as its shape and design, determines the lowest frequency where sound absorption is effective. A hemi-anechoic room, where one of the room surfaces is formed by a reflecting plane, can also be used. In this case the sound source should be mounted flush with the reflecting surface, so that the surface acts as an 'infinite' baffle. Secondary sound radiation, from the edges of the sound source or its mounting, are thus avoided.

NOTE 1 Although edge diffraction from the sound source is eliminated, diffraction from the boundaries of the reflecting plane will still be present.

The room shall have an identified region where the sound field can be assumed to contain only plane progressive wave emanating from sound source (i.e. approximates a free sound field). The sound source and measurement positions shall be located within this region.

For low frequencies long wedges with very high sound absorption are required, leading to the need for a very large room to enable measurements to be made at a sufficient distance from the wedge tip. Free-field calibration using a room with sound absorbing surface therefore becomes impractical and an alternative method may be needed.

One approach is to mount the microphone, complete with its pressure equalisation vent mechanism, inside a small enclosure, within which a low frequency sound pressure can be generated. Although there is no acoustic propagation, the sensitivity determined in such a field will nevertheless be a good approximation to the free-field sensitivity, because diffraction effects are minimal when the sound wavelength is significantly greater than the dimensions of the microphone.

NOTE 2 For WS1 microphones at reference environmental conditions, diffraction effects will contribute less than 0,1 dB to the free-field sensitivity level below 500 Hz. For WS2 and WS3 microphones the contribution will be even smaller.

NOTE 3 By using alternative techniques at low frequency, a practical low frequency limit for a free-field room of around 500 Hz will suffice.

NOTE 4 Even an alternative calibration method for low frequency will be limited to frequencies above the low frequency limit of the test or reference microphone, or by the ability to calibrate the reference microphone at low frequencies.

Free-field calibration can also be carried out in smaller scale test boxes. However their limited dimensions and depth of absorbent lining will restrict the frequency range over which they will be effective and their overall performance.

When the measurement method used assumes that a free field exists, the performance of the room shall be quantified in this respect. A method is described in ISO 26101.

6.2.3 Time selective methods for obtaining the free-field sensitivity

The use of time selective methods provides a possibility to measure the free-field sensitivity of a microphone in conditions that might otherwise be unsuitable for direct free-field calibration. With a suitable test arrangement it can be possible to distinguish between the component of the output signal resulting from the directly received acoustic wave and that received indirectly, as a result of reflection. Reflected sound travels a longer path to reach the microphone and therefore takes a greater time to do so. If the direct wave propagation and any settling effects within the microphone occur before the arrival of the first reflection, some form of time-selective technique or time gating can be used to consider the response to the direct sound only, thus simulating what would occur in an ideal free field.

NOTE Methods based on this approach for establishing the free-field response are sometimes referred to as quasi-free-field techniques.

Time selective techniques often have their own low frequency limitations, which need to be considered along with test space limitations noted above.

A variety of time-selective techniques have been developed and examples are described in Annex B.

6.3 The sound source

The sound source typically consists of a loudspeaker fitted in an enclosure or baffle. However alternative types of sound source may be deployed. Examples of sound sources can be found in Annex A.

NOTE 1 A reciprocal microphone may be driven electrically and used as a sound source.

The sound source shall be capable of generating plane progressive waves at the measurement position. In practice the sound source may not radiate plane waves, but at a sufficiently long distance from the source, wave fronts can be considered plane across the region occupied by the reference or microphone under test.

If the sound source is used for simultaneous calibration, the directivity pattern shall also be known to enable a suitable choice of measurement points to be determined. The directivity pattern shall be stable over the time period of a test.

If more than one measurement position is used, it may be desirable to use a sound source having an omni-directional directivity pattern in the frequency range of use.

To fulfill the plane wave requirement along the length of the test object, measurements shall be made within the region where the field is purely progressive.

The further requirements listed below may have greater or lesser importance depending on the calibration method adopted.

The sound source shall be capable of generating sufficient sound pressure level at the test location(s) at all the frequencies of interest. Sound pressure levels typically between 70 dB and 80 dB are usually sufficient, but the chosen level will depend on the sensitivity of the microphones to be tested and the signal-to-noise ratio requirement of the measurement system. The sound source shall produce a stable output over the time period of a test.

The stability of a loudspeaker sound source should be monitored by some means during the course of a calibration. Options for monitoring the sound source include the use of an auxiliary monitor microphone and using the repeatability in results.

At higher output levels, the loudspeaker may exhibit instabilities. The stability of the sound source shall therefore be established for the type of test signal used. Use of the minimum electrical input signal that provides an adequate signal-to-noise ratio in the measurement setup is also recommended.

The sound source shall not produce distortion components that may generate a significant response from the microphone under test and/or reference microphone at frequencies other than the test frequency.

NOTE 2 The use of suitable band pass filters can reduce this effect with sinusoidal or narrow band test signals.

NOTE 3 Distortion can also be a problem for impulsive stimuli when high peak output levels are required.

The size of the sound source shall be small relative to the distance to the measurement position(s), so that sound radiated or diffracted from off-axis elements of the source or its mounting does not cause significant deviations from ideal free-field behaviour of a point source, as the measurement distance changes.

It may be necessary to use a number of sound sources each covering different parts of the frequency range.

6.4 Reference microphone

The reference microphone shall be a laboratory standard (LS) microphone or working standard (WS) microphone having a known free-field sensitivity and corresponding uncertainty at the desired range of calibration frequencies.

Table 1 shows the available calibration options and the typical measurement uncertainty for the free-field sensitivity, for the reference microphone types available.

Table 1 – Calibration options for the reference microphone and associated typical measurement uncertainty

Reference microphone type	Calibration method	Reference	Typical expanded uncertainty ($k = 2$) in dB	
			1 kHz	10 kHz
LS	Primary free-field calibration	IEC 61094-3	0,25	0,10
	Primary pressure calibration with the addition of a free-field to pressure sensitivity level difference	IEC 61094-2 and IEC/TS 61094-7	0,12	0,4
	Secondary pressure calibration with the addition of a free-field to pressure sensitivity level difference	IEC 61094-5 and IEC/TS 61094-7	0,15	0,5
LS and WS	Secondary free-field calibration	This part of IEC 61094	0,2	0,5
	Electrostatic actuator calibration with the addition of a free-field to actuator response level difference	IEC 61094-6	0,3	0,6

Where possible the reference microphone configuration should be chosen to match that of the microphone under test.

An LS1P reference microphone shall be used without protection grid (where available). Working standard microphones may be used with or without protection grid, noting that removal of the protection grid is likely to yield the lowest uncertainty. If a protection grid is used, the reference free-field sensitivity or quoted uncertainty shall allow for this.

6.5 Monitor microphone

A monitor microphone shall be used to detect changes in the sound field, if required to achieve the desired level of measurement uncertainty.

The monitor microphone shall be permanently located in a sound field close to the sound source.

The monitor microphone shall not perturb the sound field reaching the microphone being measured. This usually requires the use of a small microphone (for example a WS3 microphone), to avoid diffraction effect that could distort plane wave propagation.

It shall therefore be validated that the choice of monitor microphone and its location do not influence the results unduly, and that any influence is accounted for in the measurement uncertainty.

6.6 Test signals

The test signal will be determined largely by details of the application and calibration method. In particular signal processing methods may require specific types of signal to be used. The source characteristics and mode of operation can also affect the choice of test signal.

Test signals can include:

- pure tone,
- swept-sine or stepped-sine,
- wide-band white noise or pink noise,
- narrow-band noise (e.g. third-octave-band noise),
- pseudo-random or periodic noise (e.g. maximum length sequences),
- warble tones (e.g. frequency modulated (FM) tones),

- tone bursts or noise bursts,
- chirps,
- impulses (e.g. clicks, sparks etc.).

NOTE The test signal used can also place particular requirements on sound source, such as frequency response or dynamic range.

6.7 Configuration for the reference microphone and microphone under test

The microphone shall be mounted on a semi-infinite cylindrical rod having the same diameter as the body of the microphone. Any deviation from this configuration, including guide wires or other hardware used to support the mounting rod, may influence the free-field sensitivity of the microphone, and any such effects shall be allowed for in the measurement uncertainty. Alternatively if the free-field sensitivity of the microphone under test is to be determined in a specific mounting configuration, then this configuration shall be used to mount the microphone under test during calibration.

The preamplifier shall be integrated with the mounting rod and shall provide the reference ground-shield mechanical configuration appropriate for the type of microphone being tested, as specified in IEC 61094-1 or IEC 61094-4.

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

The requirement to use the reference ground-shield configuration does not apply to combinations of microphone and preamplifier used as an integral system.

If adapters are used to convert a preamplifier for use with different sized microphones, the adapter used shall also convert the ground-shield configuration accordingly.

7 Factors influencing the free-field sensitivity

7.1 General

The free-field sensitivity of a measurement microphone depends on the operational and environmental conditions, as well as the geometrical configuration used in the calibration, hence the need to specify these parameters in defining the sensitivity. In addition it is necessary to ensure that these parameters are sufficiently controlled in the calibration process, so that the resulting uncertainty components can be taken into account in the uncertainty budget (see Table 2).

In addition, the calibration process itself adds further components of uncertainty that are not directly connected with the operation of the microphone. These are listed in Clause 8.

7.2 Polarizing voltage

If the microphone under test requires an external polarizing voltage, the manufacturer's recommendations shall be followed. The actual polarizing voltage used during the calibration shall be stated, along with the reported free-field sensitivity.

If the microphone is pre-polarized, care shall be taken not to apply an external polarizing voltage.

7.3 Acoustic centre of the microphone

The definition of the free-field sensitivity of a microphone refers to the sound pressure at the acoustic centre of the microphone, before the microphone is introduced into the field. When comparing microphones their acoustic centres shall be positioned at the measurement points.

Alternatively, a microphone reference point defined by the manufacturer (for example at the centre of the diaphragm or protection grid) shall be specified for aligning the microphones, and the difference between this and the acoustic centre shall be treated as an uncertainty on the distance to the sound source, and therefore on the sound pressure.

NOTE 1 The microphone acoustic centre is a function of frequency and the distance from the sound source.

NOTE 2 At sufficiently large distances from the sound source, the acoustic centre can be considered constant.

NOTE 3 A method for determining the acoustic centre is given in IEC 61094-3.

7.4 Angle of incidence and alignment with the sound source

The free-field sensitivity of a microphone is a function of the angle of incidence, particularly at high frequencies. Some means of setting the orientation of the microphone in a repeatable manner shall be used.

In addition, the co-axial alignment of the microphone with the sound source can cause errors in both the angle of incidence and applied sound pressure. Some means of setting this alignment in a repeatable manner shall be used.

7.5 Mounting configuration

The component of the free-field sensitivity derived from diffraction is strongly influenced by the geometric configuration of the microphone and its mounting. The microphone shall therefore be calibrated in a specified mounting configuration. Where no such configuration is specified, a cylinder of the same diameter as the microphone body shall be used.

7.6 Dependence on environmental conditions

The free-field sensitivity of the microphone depends on static pressure, temperature and humidity. This dependence can be determined by comparison with a well-characterized laboratory standard microphone over a range of conditions.

The sensitivity of the reference microphone shall be corrected to the actual environmental conditions during the test.

Alternatively, when reporting the result of a calibration, the free-field sensitivity may be referred to the reference environmental conditions if reliable correction data are available.

The actual conditions during the calibration shall be reported.

8 Calibration uncertainty components

8.1 General

In addition to the factors which affect the free-field sensitivity mentioned in Clause 7, 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 shall be measured or calculated with as high an accuracy as is practical in order to minimize their influence on the resulting uncertainty.

The components of uncertainty considered below relate to general requirement of free-field calibration. Some components may not be relevant, or additional components may need to be considered, in specific implementations.

8.2 Sensitivity of the reference microphone

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

The reference microphone sensitivity may be derived by applying free-field-to-pressure differences according to IEC/TS 61094-7 to a pressure reciprocity calibration according to IEC 61094-2. In this case the uncertainty of both elements shall be taken into account.

If the reference microphone requires an external polarization voltage then any difference between the voltage applied when it was calibrated and the voltage applied when used as the reference microphone shall be allowed for in the uncertainty calculation.

8.3 Measurement of the microphone output

Uncertainties of a random, or time-varying nature in the measurement of the outputs of the microphones, directly affects the uncertainty in the sensitivity of the microphone under test.

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

8.4 Differences between the sound pressure applied to the reference microphone and to the microphone under test

As stated in 5.1 the basis of a comparison method is that the test and reference microphones are exposed to a sound field having the same modulus, phase and angle of incidence. Any factor causing these parameters to alter will result in calibration uncertainty. This includes:

- the accuracy in positioning the microphones in the sound field in terms of the distance from the source, alignment with the source and the angle of incidence;
- the stability of the sound source and the effectiveness of any mechanism put in place to correct for this;
- the symmetry of the sound field in methods where the sound field is assumed to be the same at geometrically similar locations (in simultaneous comparison, for example).

This component of uncertainty can be evaluated by determining the repeatability of self-calibration.

8.5 Influence of indirect sound

Indirect sound will have an angle of incidence, magnitude and phase shift relative to the direct sound that depends on the indirect path or paths. The response of the microphone under test to indirect sound will therefore not be the same as the response to direct sound. Therefore the overall measured response will deviate from the desired free-field response. In addition it cannot be assumed that the reference microphone and microphone under test will deviate in the same way, as this depends on their geometric configuration for example.

The presence of indirect sound is related to the quality of the free-field environment in which the measurements are carried out. This can be expressed in terms of the root-mean-square deviation from idealised free-field conditions. In the absence of signal processing to remove the effects of indirect sound, the relationship between the quality of the free-field environment and the measurement uncertainty needs to be ascertained for the particular measurement setup.

NOTE One possible source of indirect sound is reflections or back-scattering between the microphone and the sound source.

8.6 Influence of signal processing

If time selective techniques are used to improve the effective quality of the free-field environment, the effectiveness of these techniques should also be considered.

The contribution of the time-selective procedure to the uncertainty of the electrical transfer impedance is often very difficult to determine analytically. One approach is to make use of simulated input data. For example a target response can be simulated with and without the influence of reflections and the time selective procedure applied to each. In the first case, the influence of the procedure on an already satisfactory response can be investigated. In the second, the effectiveness of the processing in removing the influence of indirect sound can be evaluated.

8.7 Influence of microphone characteristics and measurement system performance

8.7.1 Microphone capacitance

If the insert voltage method is not used to obtain the microphone output voltages, the assumption is that the gain of the preamplifier and other parts of the measurement chain does not change when the reference microphone is substituted by the microphone under test. However capacitance differences between the microphones will cause small changes in the preamplifier gain, leading to uncertainty in the voltage ratio.

8.7.2 Measurement system non-linearity

The measurement system is required to measure a voltage ratio. The stability of this system, and its ability to correctly indicate the voltage ratio over the expected range of voltages produced by the microphones, i.e. its linearity, has an associated uncertainty.

8.7.3 Validation of calibration system

In order to validate calibrations performed in any particular environment or by any particular method, it is recommended that they be compared with calibrations performed in a variety of other environments or by other methods. For example, most microphones can be used (as receiver only if necessary) in a free-field reciprocity calibration.

To cover the full frequency range with low uncertainty, it may be necessary to use more than one measurement facility or method.

8.8 Uncertainty on free-field sensitivity level

The uncertainty on the free-field sensitivity level shall be determined in accordance with ISO/IEC Guide 98-3. When reporting the results of a calibration the uncertainty, as function of frequency, shall be stated as the expanded uncertainty of measurement using a coverage factor of $k = 2$.

Table 2 lists a number of components affecting the uncertainty of a calibration. Not all of the components may be relevant in a given calibration setup because of the variety of methods possible.

The uncertainty components listed in Table 2 are generally a function of frequency and shall be derived as a standard uncertainty. The uncertainty components should be expressed in a linear form but a logarithmic form is also acceptable as the values are very small and the derived final expanded uncertainty of measurement would be essentially the same.

Table 2 – Typical uncertainty components

Source of uncertainty	Subclause reference
Free-field sensitivity of the reference microphone	8.2
Stability of sound source	8.4
Positioning accuracy (including acoustic centre uncertainty)	7.3, 8.4
Alignment between source and receiver	7.4, 8.4
Quality of free-field environment or influence of signal processing	8.5, 8.6
Influence of non-plane wave	6.3
Influence of environmental conditions	7.6
Polarizing voltage	7.2, 8.2
Microphone capacitance	8.7.1
Measurement system non-linearity	8.7.2
Rounding error	-
Measurement repeatability	8.3

In determining the free-field sensitivity of a working standard microphone when the reference microphone has been calibrated according to IEC 61094-3, or IEC 61094-2 and free-field to pressure differences according to IEC/TS 61094-7 applied, it is estimated that a comparison calibration of a microphone of the same diameter can achieve an overall expanded uncertainty with a coverage factor $k=2$ of approximately 0,2 dB at low and middle frequencies, increasing to approximately 0,5 dB at the upper frequency limit of the reference microphone (i.e. 10 kHz for LS1/WS1 microphones and 20 kHz for LS2/WS2 microphones).

Annex A (informative)

Basic substitution calibration in a free-field chamber

A.1 Basis of the method

Substitution calibration describes the process where a reference microphone is first used to determine the sound pressure at a specific point in a free field, and is then replaced by the microphone under test. Assuming that the acoustic centres of the two microphones can be located at the same point in the sound field, and that the sound field remains unchanged at that point, then the free-field sensitivity of the microphone under test can be determined from the ratio of the output voltage of the microphone under test to the output voltage of the reference microphone, and the free-field sensitivity of the reference microphone. In its most basic form the method is implemented in a high quality free-field chamber or hemi-anechoic chamber, using a loudspeaker as the sound source.

In principle the method can also be implemented in a free-field test box, but corrections may need to be determined and applied to account for imperfections in the free-field environment.

A.2 Examples of practical implementation

Figure A.1 shows a typical setup in a high quality free-field chamber. Figure A.2 shows an alternative arrangement established in a hemi-anechoic chamber. An appropriate means of mounting the microphone consisting of a rod having the same diameter as the body of the microphone with an integral preamplifier, can be seen in Figure A.1. In order to achieve the highest accuracy, it is necessary to maintain a seamless transition between the geometry of the preamplifier and of the rod. For a microphone mount that is used in horizontal orientation, a light-weight rod is preferred. This can be achieved by using aluminum or carbon fiber tubes. A guide wire may be required for a rod that cannot maintain a horizontal form unsupported. It is also advantageous if the distance between the end of the rod and the loudspeaker can be adjusted, by mounting the rod to a traversing positioning system, allowing calibrations to be performed at different positions in the free-field. The mounting system may also need to be rotated about a point corresponding to the acoustic centre of the microphone if angles of incidence other than zero degrees are to be used.



IEC 1787/12

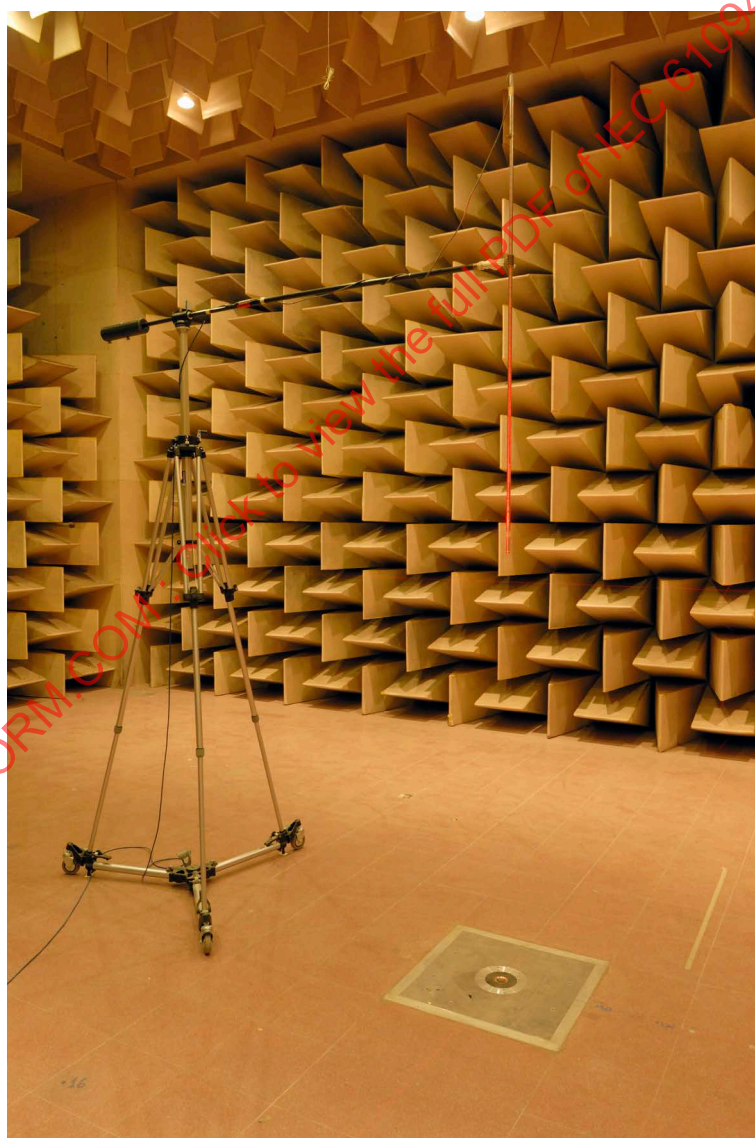
NOTE The figure is for illustrative purposes only and does not necessarily represent the separation to be used in actual practice

Figure A.1 – Illustration of source and receiver setup in a free-field room, where the monitor microphone has been integrated into the loudspeaker

The region within the room where calibrations can be performed is partly governed by the size and sensitivity of the loudspeaker. A wide choice is available, but as an example, for a 100 mm diameter loudspeaker with a nominal sensitivity where 1 W of electrical power produces a sound pressure level 85 dB at 1 m, calibrations can be performed at distances of between 1 m and 2 m from the source.

It is good practice to operate the loudspeaker source for approximately ten minutes prior to performing measurements to allow its output to stabilize.

Calibrations are carried out by measuring sequentially the ratio of the reference microphone output voltage to the monitor microphone output voltage, and the ratio of the microphone under test output voltage to the monitor microphone output voltage. The quotient of these two gives the ratio of the microphone under test output voltage to the reference microphone output voltage, corrected for any variation in the sound pressure generated by the source. The product of this ratio and the free-field sensitivity of the reference microphone, gives the free-field sensitivity of the microphone under test.



IEC 1788/12

Figure A.2 – Practical implementation in a hemi-anechoic room with a source flush-mounted in the floor

A.3 Examples of loudspeaker sound sources

A.3.1 Idealised characteristics

The choice of loudspeaker used as the sound source has a significant impact on the frequency range and overall measurement uncertainty that can be achieved in the free-field calibration of a microphone. Ideally the loudspeaker should be sufficiently small to behave as a point source and maintain its omni-directional characteristics up to the maximum frequency of interest. Its sensitivity should be sufficiently high to generate the required sound pressure at the measurement locations, and its output should be stable with time. The frequency response should also be flat over the desired range of calibration. This is particularly important when test signals designed to yield a broadband response (e.g. impulsive signals) are used.

Practical designs of loudspeaker rarely possess all of these characteristics and compromises need to be made. The main factors influencing the choice of loudspeaker are listed below.

A.3.2 Practical considerations in the choice of a loudspeaker source

The size of the loudspeaker has a strong influence on its effective frequency range. Small loudspeakers are typically effective to higher frequencies, and have further advantages in acting as a point source. However their ability to produce sufficient sound pressure at lower frequencies will be limited. For example, a well-designed loudspeaker having a diameter of 30 mm can have a flat frequency response to well beyond 20 kHz, but may not be usable below 2 kHz due to the radiation efficiency decreasing with frequency. In contrast a 75 mm diameter loudspeaker may produce sufficient sound pressure from 125 Hz, but may become ineffective above 10 kHz due to a reduction in sensitivity and its response becoming increasingly directional.

The size and mounting arrangement of the loudspeaker will also influence the radiated sound field. Sound will propagate from all elements of the moving surface. Therefore there may be slight variations in the propagation distance between the source and receiver microphone, resulting in phase perturbations in the received sound. These become more significant as the size of the loudspeaker increases and the distance to the receiver microphone decreases. In addition, since sound will radiate from the loudspeaker in all directions, the edges of the loudspeaker enclosure or mounting arrangement can potentially act as secondary radiation locations, which result in departures from the desired plane progressive wave sound field. It is therefore necessary to consider enclosure or mounting geometries that minimize these effects. Alternatively, ensuring that the reference microphone and microphone under test are of a similar type can reduce the influence of this effect on the measured free-field sensitivity.

There are a variety of loudspeaker types available, including electro-dynamic (moving coil) and electrostatic models. Each offer particular combinations of size, frequency response, sensitivity and stability. For example electro-dynamic types typically offer better sensitivity, but dissipate heat in the voice coil which can degrade stability. Electrostatic loudspeakers do not generate significant amounts of heat, but can be limited in size and are therefore not suitable for low frequency operation.

Coaxial units are also available where two (or more) loudspeaker diaphragms are mounted concentrically, each covering a specific part of the frequency range. In such designs it is important to consider the degree of isolation between the diaphragms as there are often interactions (e.g. acousto-mechanical coupling) that can perturb the radiated sound field.

Figure A.3 shows two loudspeaker enclosures designed to reduce diffraction from the enclosure. An electrostatic loudspeaker mounted in the floor of a hemi-anechoic chamber can be seen in Figure A.2. In such a configuration, secondary radiation from the mounting arrangement is almost completely eliminated.



IEC 1789/12

Figure A.3 – Examples of loudspeaker sources

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

Annex B (informative)

Time selective techniques

B.1 Basic principle

B.1.1 General

The basic sequential or simultaneous calibration procedure can be supplemented with additional processing techniques that enable the measured response to be corrected for imperfections in the free-field environment.

The purpose of this annex is to provide outlines to a selection of such techniques that have been applied in practice. However it is not the intention to provide a complete technical description here, (such details can be found in the Bibliography), but to describe the principles that form the basis of the selected techniques. It is acknowledged that not all methods are described, and other methods are not excluded from use in the context of this standard.

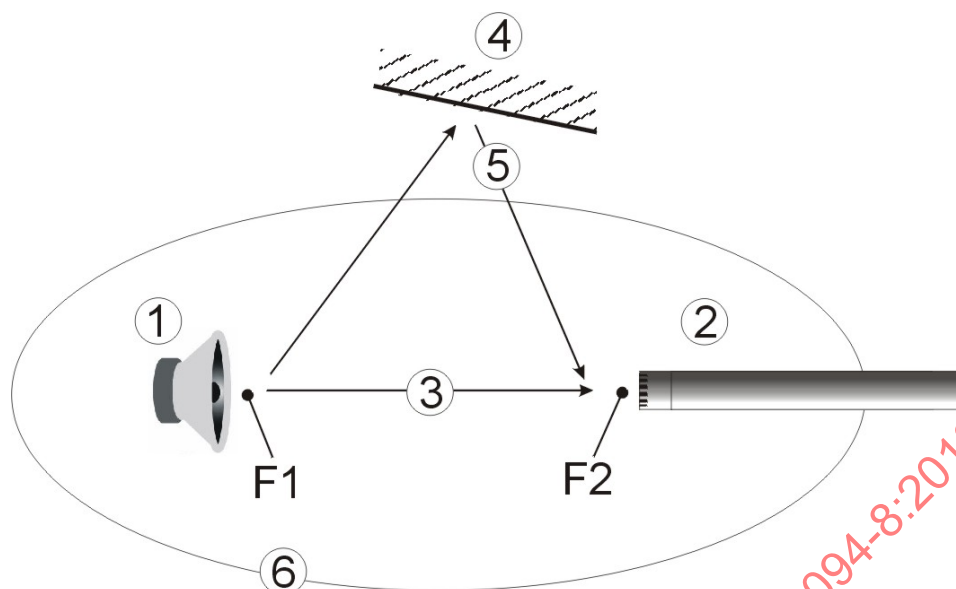
In some cases commercial hardware and/or software implementing a particular technique, is available.

The basis for the corrective approach is that an impulse response (IR) can be obtained from the measured output of the reference microphone or device under test, which separates the direct and reflected energy components into sufficiently distinct regions, enabling the two to be separated by applying a time window, and the response of only the direct signal to be considered. Assuming the system is linear and time-invariant, a time-domain to frequency-domain transformation can then be used to obtain the desired frequency response. For example, it is common practice to obtain the impulse response and use a Fourier transform to obtain the frequency response.

Measurements using such impulse response techniques may be performed in a free-field room, or any suitably proportioned space.

B.1.2 Geometrical considerations

In order for the chosen processing method to be effective, it is essential that the geometrical configuration of the experimental set-up enables the appropriate separation of the direct and reflected components. Specifically, this requires the separation between the source and the microphone to be discernibly shorter than any indirect path.

**Key**

- 1 sound source
- 2 reference microphone or microphone under test
- 3 direct path
- 4 reflecting surface
- 5 reflected path
- 6 boundary of effective free-field region

IEC 1790/12

F1, F2 are the acoustic centres of the sound source and microphone, which set the focal points generating the ellipsoid representing the boundary of the effective free-field region.

Figure B.1 – Illustration of set-up for measurement with time selective techniques

The placement and duration of the chosen time window defines an effective free-field region as illustrated in Figure B.1. Implicitly, the device to be measured is within this region and any potentially reflecting surfaces or obstacles must be outside of it. The shape of the effective free-field region is a prolate spheroid generated by an ellipse that has the sound source and the microphone at the foci and the major diameter A given by

$$A = d + \tau c \quad (\text{B.1})$$

where

- d is the source to receiver separation,
- τ is the time from the arrival of the sound at the microphone under test, to the end of the time window,
- c is the speed of sound at the prevailing environmental conditions.

In order not to produce artefacts in the transformed data, the time window normally has 'tapered' edges, with a time interval over which it gradually decreases to zero. Therefore, the free-field region is not, in practice, defined by a distinct boundary as shown in Figure B.1.

The microphone mounting rod should be sufficiently long so that the end opposite to the microphone is completely outside the simulated free-field region.

B.1.3 Time window

A time window is effectively a weighting function that has a finite value within some chosen interval and is zero-valued outside of this. It is used to multiply the signal to be processed (i.e. the impulse response), in order to select the components of interest and eliminate the remainder (for example late reflections) from further consideration.

Since the influence of the time window is included in the further processing of the signal, its shape must be chosen carefully to avoid the introduction of unwanted artefacts. For instance, the simplest type of window, which is constant over the chosen interval and zero-valued outside of it (known as a rectangular window), is not recommended because it usually leads to spectral leakage in the frequency domain.

Many window types or shapes are available including, Hann, Hamming, Tukey, Butterworth Cosine and Gaussian. The choice of window depends upon the characteristics of the signal to be processed, and the processing to be used and the level of precision to be achieved.

The placement and duration of the window depends on three criteria:

- a) the relative distance between source and microphone (or between monitor microphone and microphone under test, assuming the monitor microphone is located close to the source), and from the source to the walls or other reflecting objects,
- b) the proximity and form of the supporting structure beyond the semi-infinite rod,
- c) visual inspection of the impulse response.

B.1.4 Measurement uncertainty

Measurement uncertainties associated with the individual methods are not discussed in detail, as they will depend on details of the particular implementation. However, components associated with the data processing method used need to be fully evaluated and integrated into the overall analysis of measurement uncertainty (see 8.6).

The uncertainty contributions of particular importance to the time selective techniques include the influence of noise, distortion, time variance of the configuration under test and of the sound source and of the time and frequency windows applied to the signals.

B.2 Stepped-sine method

B.2.1 Outline of method

The basis of this method is that the frequency response and impulse response of a linear system are related by the Fourier transform and its inverse.

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-j2\pi ft) dt \quad (\text{B.2})$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (\text{B.3})$$

where

- $h(t)$ is the impulse response, and
 $H(f)$ is the frequency response of the system.

Therefore, when the full range frequency response can be measured, an inverse Fourier transform, Equation B.3, can be applied to transform this response to the time domain, where

time selective processes can be applied. The effective free-field frequency response can then be determined by applying a Fourier transform, Equation B.2, to the modified time domain response.

Typically, Fast Fourier Transform algorithms (FFT and FFT^{-1}) are used to compute the transforms. These require the frequency response to be measured at discrete frequencies and linearly spaced frequency increments. The frequency increment chosen will determine the time domain resolution.

The other requirement evident from Equation B.2 is that the frequency range must effectively extend from $-\infty$ to ∞ , or 0 to ∞ for a single-sided frequency response. Some means of extending the frequency range derived from the band-limited capabilities of practical measurement systems is therefore needed.

In practice, frequency response measurements from a few kilohertz to about three times the resonance frequency of the microphones should be made. Beyond this upper frequency, the response of the microphone should become insignificant, and not have a great influence on the time domain response.

The low frequency response can be estimated from a knowledge of the pressure sensitivities of the microphones.

A description of the method can be found in Reference [1] in the Bibliography.

B.2.2 Practical considerations

In principle, measurements can be made in any room. There is experience of measurements made either in a very small (2 m^3) or a very large ($1\,000 \text{ m}^3$) free-field room.

Because the length of the impulse response will be the inverse of the size of the frequency step, the size of the room will influence the choice of frequency resolution.

In a small free-field room, the microphone and the source will of necessity be located close to the walls, and the reflections from there may not have decayed sufficiently. Therefore it is important that the impulse response is long enough to include them. For instance, in small anechoic rooms, with typical internal dimensions of around 1,5 m, it is enough to have a frequency resolution of 120 Hz because the primary reflections all occur before 8 ms.

In a large high performance free-field room, any reflections from the walls are likely to have diminished sufficiently due to the propagation path length, to not influence the measured frequency response significantly, whereas reflections from the measurement rig will remain significant and these become the dominant source of disturbance. In this case a frequency resolution of approximately 30 Hz is appropriate.

In a situation where the performance of the room results in secondary reflections that remain significant, the length of the impulse response shall be long enough to include these reflections.

B.3 Sweep excitation methods

B.3.1 Outline of methods

For the purpose of measuring the free-field sensitivity of a microphone as a function of frequency, a sweep excitation signal can be defined as a sinusoidal signal with continuously varying frequency, and optionally, amplitude. Sweep techniques are discussed in References [2], [3], [4], [5], [6], [7] and [8] in the Bibliography.

Two special constant amplitude cases are normally considered; the linear and the exponential sweep.

In a linear sweep the frequency increases linearly with time leading to equal energy per unit frequency (i.e. constant time-mean-square voltage of the excitation signal). In an exponential sweep the frequency increases exponentially with time leading to equal energy per octave. Therefore the energy, and hence the signal-to-noise ratio, at low frequencies is greater for an exponential sweep than for a linear sweep.

NOTE 1 Linear and exponential sweeps are sometimes described as having 'white' spectra and 'pink' spectra respectively.

NOTE 2 Exponential sweeps are often referred to as logarithmic sweeps in the literature as the logarithm of the relative frequency increases linearly with time.

The output voltage from the microphone under test has to be acquired, from the start of the sweep, to a time where all parts of the response (i.e. direct sound and sound reflected from the room or the microphone being measured) have decayed sufficiently so as not to influence the result.

Generally, the impulse response is obtained from the acquired response by cross-correlation or by convolution with the inverse of the excitation signal. This inverse signal is the signal that, when convolved with the excitation signal, results in the idealized impulse (delta function).

Having obtained the impulse response, this can be subjected to appropriate time-windowing, before transforming to the frequency domain.

B.3.2 Practical considerations

The signal-to-noise ratio of swept sine measurements may be improved by increasing the sweep duration or by synchronous averaging of the acquired responses to several repeated sweeps, before carrying out the cross-correlation or convolution processes. Doubling the duration of the sweep or the number of sweeps is expected to increase the effective signal-to-noise ratio by 3 dB.

In principle, the signal-to-noise ratio may also be improved by averaging the derived impulse responses. However, this method is generally not recommended as it exhibits increased sensitivity to instability in the environmental conditions.

B.4 Random noise excitation methods

B.4.1 Outline of methods

The use of random noise as test signal requires a two channel measurement system to determine the transfer function of a linear system under test: the output of the microphone is considered the output $y(t)$, of the linear system, while the voltage driving the sound source, or the output of a monitor microphone close to the source, is considered the input, $x(t)$. The analysis consists of the evaluation of the cross-spectrum, $G_{xy}(f)$, and one of the power spectra, $G_{xx}(f)$ or $G_{yy}(f)$. The test signal should be active for a period of at least the reverberation time of the test space, before the output from the microphone is acquired. The acquisition period signal should be at least as long as this reverberation time. The measurement requires an averaging of the spectral quantities involved to reduce the influence of noise and the uncertainty pertaining to the statistical nature of the signal. The frequency response, $H(f)$, can be calculated from:

$$H(f) = \frac{G_{xy}(f)}{G_{xx}(f)} \quad (\text{B.4})$$

Having obtained the frequency response, an approach similar to that described in B.2 can be followed, where the Fourier transform is used to obtain an impulse response, which can be subjected to appropriate time-windowing, before re-transforming to the frequency domain.

Methods using random noise excitation are discussed in References [7], [9] and [10] in the Bibliography.

B.4.2 Practical considerations

This method provides a means of examining the linear dependence of the output upon the input using the coherence function, which is useful in quantifying the influence of non-linear effects on the measurement, principally noise and distortion. The coherence function γ is defined as

$$\gamma^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \quad (\text{B.5})$$

In a disturbance-free measurement the coherence function would be unity. If the significant contributor to non-unity values can be attributed to noise, then the signal to noise ratio SNR may be expressed as

$$SNR = \frac{\gamma^2(f)}{1 - \gamma^2(f)} \quad (\text{B.6})$$

It follows that the uncertainty associated with the measurement depends on the number of averages and the value of the coherence function at the frequency of interest.

B.5 Maximum length sequence (MLS) method

B.5.1 Outline of method

A maximum length sequence (MLS) is a pseudorandom binary sequence of predetermined length (typically of the form $2^N - 1$ where N is an integer), where the sequence repeats periodically to create the excitation signal. The MLS frequency spectrum is flat for frequencies greater than zero, and the auto-correlation function is unity at the start of each period with zero time lag and otherwise tends to zero, as the sequence length increases.

These characteristics make maximum length sequences especially suited to the determination of the impulse response of a system and some examples of their use are discussed in References [7], [11], [12] and [13] in the Bibliography.

Consider the response of linear, time-invariant system to a maximum length sequence. Let the system impulse response be $h(n)$, and its output be $y(n)$ in response to the MLS $s(n)$;

$$y(n) = [h * s](n) \quad (\text{B.7})$$

$$y(n) = h(n) * s(n) \quad (\text{B.8})$$

Note that the procedure requires the interval between the maximum length sequence samples to be synchronous with the sampling frequency used for the acquired response.

Then if G_{sy} is the cross-correlation of $s(n)$ and $y(n)$ and G_{ss} is the auto-correlation of $s(n)$,

$$G_{sy} = h(n) * G_{ss} \quad (\text{B.9})$$

Thus, noting that G_{ss} tends towards a unit impulse, the impulse response of the system $h(n)$ (assuming a sufficiently long MLS) is given by the cross-correlation of the MLS and the response of the system to the MLS.

The impulse response yielded by this method can then be time-windowed to remove unwanted components. An FFT then produces the equivalent free-field frequency response.

B.5.2 Practical considerations

The cross-correlation can be obtained effectively with the Fast Hadamard Transform, with the addition of an extra sample in the record giving an output sequence length of 2^N for computation efficiency.

In implementing the method it is necessary to consider the sample interval and length of the MLS and the number of repeated cycles used. The chosen interval must lead to a sampling frequency that exceeds twice the upper frequency of interest.

The reciprocal of the duration of the sequence determines the frequency resolution that can be obtained in the resulting frequency response. In addition, the duration of the MLS should be at least equal to the longest reverberation time in the applied frequency range in the room used for the measurements. The signal should be switched on at least one period before the data recording is started.

The signal-to-noise ratio of MLS measurements may be improved by synchronous averaging of the acquired responses to several sequences. Doubling the duration of the sequences or the number of averaged impulse responses, is expected to increase the effective signal-to-noise ratio by 3 dB. The number of repeated cycles should therefore be sufficient to achieve the desired signal-to-noise ratio within the measurement time constraints.

B.6 Direct impulse excitation methods

B.6.1 Outline of methods

A signal that approximates an idealized unit impulse (delta function) can be directly applied to the sound source, and the response of the microphone under test measured. Such a method is described in Reference [14] in the Bibliography.

In order to have a flat spectrum in the frequency range of interest for the measurement, the duration of the input signal needs to be sufficiently short.

The Fourier transform, $X(f)$, of a rectangular pulse of duration b and amplitude a is

$$X(f) = \frac{2ab \sin(2\pi fb)}{2\pi fb} \quad (\text{B.10})$$

The first zero in the spectrum is at $f = 1/(2b)$. This frequency must be approximately an order of magnitude higher than the upper limit of the frequency range of interest, leading to a requirement for the duration, b of just a few microseconds.

B.6.2 Practical considerations

Direct impulsive excitation methods have been largely superseded by the methods described above, but are included here for completeness.

The method is usually implemented by sampling and recording the output from the device being measured. The duration of the captured response must exceed the reverberation time of the room used, which can also be dependent on the frequency content of the applied signal.

The short duration of the excitation signal implies that the generation of sufficient input energy is likely to require a large voltage to be applied to the sound source. Care should therefore be taken not to exceed the linear limit of the sound source.

Even so, a poor signal-to-noise ratio is to be expected when using the result from a single impulse, and synchronous averaging of the results of several impulses is necessary to reduce the influence of background noise. If all the noise is random in nature, averaging n results serves to reduce the overall level, leading to an improvement in signal-to-noise ratio of $\sqrt{n}$ (or $10 \log(n)$ in decibels).

However the number of averages is limited by the stability in time of the measurement system. In particular, variation in delays from electrical signal to microphone output, caused, for example by variation of the speed of sound due to temperature changes, may deteriorate the ability to correlate successive results. It should be noted that direct impulse measurement is in essence a single channel measurement and that the time average precludes the possibility of computing the coherence function (see Equation B.5) to evaluate the reliability of the frequency response.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

Bibliography

- [1] RASMUSSEN, K. and BARRERA-FIGUEROA, S. *Free-field reciprocity calibration of laboratory standard (LS) microphones using a time selective technique*. J. Acoust. Soc. Am. **120** 2006, 3232
- [2] POLETTI, M.A., *Linearly Swept Frequency Measurements, Time-Delay Spectrometry, and the Wigner Distribution*, Journal of the Audio Engineering Society, 36 (6), 1988, 457 – 468
- [3] STRUCK, C.J. and BIERING, C.H., *A New Technique for Fast Response Measurements Using Linear Swept Sine Excitation*, 90th Convention of the Audio Engineering Society, New York, USA 1991, preprint 3038
- [4] STRUCK, C.J. and TEMME, S.F., *Simulated Free Field Measurements*, J. Audio Eng. Soc., 42 (1994) 478–488
- [5] MÜLLER, S., *Measuring Transfer-Functions and Impulse Responses*, Handbook of Signal Processing in Acoustics, Chapter 5, Springer 2008
- [6] FARINA, A., *Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique*,. AES 108th Convention, Paris, 2000, Preprint 5093
- [7] ISO 18233:2006, *Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics*
- [8] Takahashi, H. Fujimori, T. and Horiuchi, R. *Minimizing the sound reflection for free-field calibration of type WS3 microphones by using a virtual pulse method*. INTER-NOISE 2007, Istanbul, Turkey, in07_601.
- [9] BENDAT, J.S. and PIERSON, A.G. *Random data: Analysis and measurement procedures*, John Wiley and Sons, Hoboken, 2010
- [10] OTNES, R.K. and ENOCHSON, L. *Applied Time Series Analysis*, John Wiley and Sons, New York, 1978
- [11] BJØR, O.-H., *Measurement of microphone free-field response – Technical Note*, Noise Control Eng. J., **52** (2), 2004
- [12] BORISH, J., and ANGELL, J.B., *An Efficient Algorithm for Measuring the Impulse Response Using Pseudorandom Noise*, J. Audio Eng. Soc. 31, 1983, 478 – 488
- [13] RIFE, D.D. and VANDERKOOY, J., *Transfer-Function Measurement with Maximum-Length Sequences*, J. Audio Eng. Soc., Vol. 41, No 5, 1989, 314 – 443
- [14] DOWNES, J. and ELLIOTT, S. J. *The measurement of the free field impulse response of microphones in a laboratory environment*. J. Sound Vib. Vol. 100 No.3, 1985, 423-443

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
1 Domaine d'application	36
2 Références normatives	36
3 Termes et définitions	37
4 Conditions ambiantes de référence	38
5 Principes de l'étalonnage en champ libre par comparaison	38
5.1 Principe général	38
5.2 Principes généraux utilisant une excitation séquentielle	38
5.3 Principes généraux de l'utilisation d'une excitation simultanée	38
6 Exigences générales	39
6.1 L'espace d'essai	39
6.2 Méthodes d'établissement du champ libre	39
6.2.1 Généralités	39
6.2.2 Utilisation d'un espace d'essai doté de surfaces absorbant le son	39
6.2.3 Méthodes de filtrage temporel pour l'obtention de l'efficacité en champ libre	40
6.3 La source de son	41
6.4 Microphone de référence	42
6.5 Microphone de contrôle	42
6.6 Signaux d'essai	42
6.7 Configuration pour le microphone de référence et le microphone en essai	43
7 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en champ libre	43
7.1 Généralités	43
7.2 Tension de polarisation	44
7.3 Centre acoustique du microphone	44
7.4 Angle d'incidence sonore et alignement sur la source sonore	44
7.5 Configuration du montage	44
7.6 Influence des conditions ambiantes	44
8 Composantes d'incertitudes d'un étalonnage	45
8.1 Généralités	45
8.2 Efficacité du microphone de référence	45
8.3 Mesure de la tension de sortie du microphone	45
8.4 Différences entre la pression acoustique appliquée au microphone de référence et celle appliquée au microphone en essai	45
8.5 Influence du son indirect	46
8.6 Influence du traitement du signal	46
8.7 Influence des caractéristiques du microphone et des performances du système de mesure	46
8.7.1 Capacitance du microphone	46
8.7.2 Non-linéarité du système de mesure	46
8.7.3 Validation du système d'étalonnage	46
8.8 Incertitude sur le niveau d'efficacité en champ libre	47
Annexe A (informative) Étalonnage élémentaire par substitution dans une salle anéchoïque	48
Annexe B (informative) Techniques de filtrage temporel	52

Bibliographie.....	61
Figure A.1 – Illustration du montage source/récepteur dans une salle en champ libre, dans laquelle le microphone de contrôle est intégré au haut-parleur	49
Figure A.2 – Mise en œuvre pratique dans une salle héli-anéchoïque avec une source montée au ras du sol	50
Figure A.3 – Exemples de sources à haut-parleur	51
Figure B.1 – Illustration du montage pour les mesures utilisant des techniques de filtrage temporel.....	53
Tableau 1 – Options d'étalonnage pour le microphone de référence et incertitude de mesure type associée	42
Tableau 2 – Composantes d'incertitude types	47

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MICROPHONES DE MESURE –

Partie 8: Méthodes pour la détermination de l'efficacité en champ libre par comparaison des microphones étalons de travail

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 61094-8 a été établie par le comité d'études 29 de la CEI: Electroacoustique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
29/752/CDV	29/759/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/CEI, Partie 2.

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

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-8:2012

MICROPHONES DE MESURE –

Partie 8: Méthodes pour la détermination de l'efficacité en champ libre par comparaison des microphones étalons de travail

1 Domaine d'application

La présente partie de la série CEI 61094 est applicable aux microphones étalons de travail satisfaisant aux exigences de la CEI 61094-4. Elle décrit des méthodes pour la détermination de l'efficacité en champ libre par comparaison utilisant un microphone étalon de laboratoire ou un microphone étalon de travail (s'il y a lieu) qui a été étalonné d'après les indications d'un des documents suivants:

- la CEI 61094-3,
- la CEI 61094-2 ou la CEI 61094-5, et pour lequel les facteurs donnés dans la CEI/TS 61094-7 ont été appliqués,
- la CEI 61094-6,
- la présente partie de la CEI 61094.

Les méthodes employées dans un environnement acoustique constituant une bonne approximation d'un champ libre idéal (par exemple une chambre en champ libre de haute qualité) et les méthodes utilisant un post-traitement des résultats pour réduire au maximum l'effet des imperfections de l'environnement acoustique, afin de simuler les conditions d'un champ libre, sont toutes abordées dans la présente partie de la CEI 61094. Des méthodes de comparaison reposant sur les principes décrits dans la 61094-3 peuvent également être utilisées, mais elles sortent du domaine d'application de la présente partie de la CEI 61094.

NOTE 1 La présente partie de la CEI 61094 peut également être appliquée aux microphones étalons de laboratoire satisfaisant aux exigences de la CEI 61094-1, si l'on note que ces microphones satisfont également aux spécifications électroacoustiques relatives aux microphones étalons de travail.

NOTE 2 La présente partie de la CEI 61094 peut également être appliquée aux combinaisons de microphone et de préamplificateur dans lesquelles l'efficacité déterminée est rapportée à la tension de sortie vide du préamplificateur.

NOTE 3 D'autres dispositifs, par exemple des sonomètres, peuvent être étalonnés d'après les principes de la présente partie de la CEI 61094, mais ne font pas partie 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).

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

CEI 61094-2, *Electroacoustique – Microphones de mesure – Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité*

CEI 61094-3, *Microphones de mesure – Partie 3: Méthode primaire pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité*

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

CEI 61094-5, *Microphones de mesure – Partie 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression par comparaison des microphones étalons de travail*

CEI 61094-6, *Microphones de mesure – Partie 6: Grilles d'entraînement pour la détermination de la réponse en fréquence*

CEI/TS 61094-7, *Microphones de mesure – Partie 7: Valeurs des différences entre les niveaux d'efficacité en champ libre et en pression des microphones étalons de laboratoire*

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

ISO 26101, *Acoustique – Méthodes d'essai pour la qualification des environnements en champ libre*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 61094-1 et la CEI 61094-3, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

microphone de référence

microphone étalon de laboratoire ou microphone étalon de travail dont l'efficacité en champ libre a été déterminée auparavant

3.2

microphone en essai

dispositif en essai

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

Note 1 à l'article: D'autres matériels, par exemple des sonomètres, peuvent être étalonnés d'après les principes de la présente partie de la CEI 61094, mais ne font pas partie du domaine d'application de la présente norme.

3.3

microphone de contrôle

microphone destiné à détecter les variations de pression acoustique dans l'environnement d'essai

3.4

point de référence du microphone

point spécifié sur le microphone, ou à proximité de celui-ci, servant à décrire la position du microphone

Note 1 à l'article: Le point de référence du microphone peut être situé au centre du diaphragme du microphone.

3.5

direction de référence

direction entrante, vers le point de référence du microphone, spécifiée pour déterminer la réponse acoustique et la réponse directionnelle

Note 1 à l'article: La direction de référence peut être spécifiée par rapport à un axe de symétrie.

3.6

angle d'incidence

angle formé par la direction de référence et la droite passant par le centre acoustique d'une source sonore et le point de référence du microphone

Note 1 à l'article: L'angle d'incidence sonore est exprimé en degrés.

4 Conditions ambiantes de référence

Les conditions ambiantes de référence sont:

température:	23,0 °C
pression statique:	101,325 kPa
taux d'humidité relative:	50 %

5 Principes de l'étalonnage en champ libre par comparaison

5.1 Principe général

Lorsqu'un microphone de référence étalonné et un microphone en essai sont exposés à la même pression acoustique en champ libre, soit simultanément soit séquentiellement, et à conditions ambiantes égales, le rapport de leurs efficacités en champ libre pour ces conditions est donné par le rapport de leurs tensions de sortie en circuit ouvert. Le module et la phase de l'efficacité en champ libre du microphone en essai peuvent donc être calculés à partir de l'efficacité en champ libre connue du microphone de référence. Toutefois la détermination de la phase d'efficacité en champ libre nécessite la définition de phases de référence cohérentes au niveau des centres acoustiques des microphones.

À certaines fréquences, l'efficacité en champ libre mesurée pour un microphone dépend fortement de la configuration du montage, et les résultats concernant le microphone ne peuvent pas être considérés comme étant indépendants de la configuration de montage utilisée (voir 6.7).

Le principe de la méthode permet également d'associer le microphone en essai à un matériel de mesure, par exemple un préamplificateur particulier, et l'efficacité peut être rapportée à la tension de sortie à vide de ce matériel de mesure.

5.2 Principes généraux utilisant une excitation séquentielle

Si l'on souhaite exposer séquentiellement les deux microphones à une pression acoustique considérée comme identique, il convient que la tension de sortie de la source sonore et les conditions environnementales ne varient pas. S'il existe une possibilité que le champ sonore varie, cela doit être détecté et corrigé, par exemple au moyen d'un microphone de contrôle. Des exemples de dispositions pratiques sont donnés à l'Annexe A.

NOTE En principe, on peut substituer séquentiellement un certain nombre de microphones en essai dans le champ sonore une fois que le champ sonore de référence a été établi, mais cela exige une source sonore présentant davantage de stabilité et d'uniformité spatiale, et peut augmenter l'incertitude de mesure.

5.3 Principes généraux de l'utilisation d'une excitation simultanée

L'exposition simultanée du microphone de référence et d'un ou plusieurs microphones en essai au champ sonore résout le problème des variations du champ sonore dans le temps, mais nécessite d'identifier différents points du champ sonore auxquels les pressions acoustiques sont identiques. On peut y parvenir en configurant l'espace d'essai et la source sonore de façon à obtenir un champ sonore symétrique. Si les effets des perturbations présentes dans la source sonore doivent être éliminés, il est essentiel que les tensions de sortie provenant du microphone en essai et du microphone de référence soient mesurées simultanément lorsque l'on détermine le rapport des tensions de sortie en circuit ouvert.

Dans un étalonnage par comparaison simultanée, il est important de veiller à ce que la présence du microphone de référence ne perturbe pas le champ arrivant en incidence sur le microphone en essai, et vice versa.

Si la source doit fournir deux points ou plus dans le champ sonore auxquels la pression acoustique est censée être identique, cela exige que les caractéristiques directionnelles de la source aient une stabilité extrêmement élevée. On peut n'y parvenir qu'en diminuant les exigences en matière d'incertitude de mesure ou en développant une source spécialement conçue pour cet objectif.

6 Exigences générales

6.1 L'espace d'essai

L'espace d'essai doit être le plus possible à l'abri des effets provoquant des instabilités dans le champ sonore, par exemple entre les mesures avec le microphone en essai et le microphone de référence. Cela comprend les changements de conditions ambiantes, les courants d'air, les gradients de température et les perturbations électromagnétiques.

Le niveau de bruit de fond et de vibration de l'espace d'essai doit permettre d'obtenir des mesures satisfaisant aux exigences de rapport signal/bruit du système de mesure utilisé. En pratique, il convient de prendre des mesures pour réduire au maximum le bruit de fond.

NOTE Les sources de chaleur présentes dans l'espace d'essai peuvent introduire certains des types de perturbation décrits ci-dessus.

6.2 Méthodes d'établissement du champ libre

6.2.1 Généralités

Il existe deux approches générales que l'on peut utiliser pour effectuer des mesures en champ libre. La première consiste à créer un environnement susceptible d'établir un champ libre en utilisant un espace d'essai doté de surfaces absorbant le son pour éviter les réflexions du son provenant directement de la source. La seconde consiste à utiliser des méthodes de traitement du signal afin d'éliminer le contenu de signal correspondant au son reçu indirectement, de façon à simuler un environnement de champ libre. Il existe de nombreuses façons de mettre en œuvre chacune de ces deux approches. On peut également combiner les deux méthodes pour les mesures faisant l'objet d'exigences très strictes.

6.2.2 Utilisation d'un espace d'essai doté de surfaces absorbant le son

Les options auxquelles on peut faire appel pour réaliser un véritable environnement de champ libre vont des salles de champ libre (également appelées chambres anéchoïques) aux enceintes et boîtiers d'essai de plus petites dimensions.

Les surfaces d'une salle de champ libre sont habituellement recouvertes d'un matériau absorbant le son, configuré pour présenter une impédance acoustique à variation graduelle à une onde sonore incidente. Cela prend souvent la forme d'éléments anguleux qui font saillie dans la salle, bien que l'on puisse utiliser d'autres configurations. La profondeur de cette couche absorbante, de même que sa forme et sa conception, déterminent la fréquence la plus basse à laquelle l'absorption du son est efficace. On peut également utiliser une salle hémianéchoïque, dans laquelle une des surfaces de la salle est formée d'un plan réfléchissant. Dans ce cas, il convient que la source sonore soit montée au ras de la surface réfléchissante, afin que cette surface agisse comme un écran infini. Le rayonnement sonore secondaire provenant des bords de la source sonore ou de son montage est ainsi évité.

NOTE 1 La diffraction de bord provenant de la source sonore est éliminée, mais la diffraction provenant des frontières du plan réfléchissant est toujours présente.

La salle doit avoir une région identifiée dans laquelle on puisse supposer que le champ sonore ne contient qu'une onde progressive plane émanant de la source sonore (c'est-à-dire correspondant approximativement à un champ de son libre). La source sonore et les positions de mesure doivent se trouver à l'intérieur de cette région.

Pour les fréquences basses, il est nécessaire d'utiliser des éléments anguleux longs à haut pouvoir d'absorption du son, ce qui nécessite une salle de très grandes dimensions pour permettre d'effectuer des mesures à une distance suffisante de l'extrémité de l'élément anguleux. L'étalonnage en champ libre dans une salle dotée d'une surface absorbant le son devient donc irréalisable, et une autre méthode peut s'avérer nécessaire.

Une approche consiste à monter le microphone, avec son dispositif d'égalisation de pression, à l'intérieur d'une petite enceinte, à l'intérieur de laquelle une pression acoustique de basse fréquence puisse être générée. Bien qu'il n'y ait pas de propagation acoustique, l'efficacité déterminée dans ce type de champ constitue néanmoins une bonne approximation de l'efficacité en champ libre, car les effets de la diffraction sont minimes lorsque la longueur d'onde du son est très supérieure aux dimensions du microphone.

NOTE 2 Pour les microphones WS1 placés dans les conditions ambiantes de référence, les effets de la diffraction contribuent pour moins de 0,1 dB au niveau d'efficacité en champ libre au-dessous de 500 Hz. Pour les microphones WS2 et WS3, la contribution est encore plus faible.

NOTE 3 Si l'on utilise des variantes de techniques à fréquence basse, une limite pratique de fréquence basse pour une salle de champ libre d'environ 500 Hz suffira.

NOTE 4 Toute variante de méthode d'étalonnage pour fréquence basse sera elle-même limitée aux fréquences situées au-dessus de la limite de fréquence basse du microphone d'essai ou de référence, ou par la capacité d'étalonner le microphone de référence aux fréquences basses.

L'étalonnage en champ libre peut également être effectué dans des boîtiers d'essai de plus petites dimensions. Cependant, ces dimensions limitées et la profondeur du revêtement absorbant limitent la plage de fréquences sur laquelle ils peuvent être efficaces, ainsi que leurs performances globales.

Lorsque la méthode de mesure utilisée suppose l'existence d'un champ libre, les performances de la salle doivent être quantifiées à cet égard. Une méthode est décrite dans l'ISO 26101.

6.2.3 Méthodes de filtrage temporel pour l'obtention de l'efficacité en champ libre

L'utilisation de méthodes de filtrage temporel offre une possibilité de mesurer l'efficacité en champ libre d'un microphone dans des conditions qui, elles, pourraient ne pas convenir à un étalonnage en champ libre direct. Avec un montage d'essai approprié, on peut normalement distinguer la composante du signal de sortie résultant de l'onde acoustique reçue directement de celle reçue indirectement, à la suite d'une réflexion. Le son réfléchi suit un trajet plus long pour atteindre le microphone et, par conséquent, prend plus de temps pour le faire. Si la propagation directe de l'onde et les effets d'établissement à l'intérieur du microphone se produisent avant l'arrivée de la première réflexion, on peut utiliser une certaine forme de technique à filtrage temporel ou à fenêtre temporelle afin de ne considérer que la réponse au son direct, de façon à simuler ce qui se produirait dans un champ libre idéal.

NOTE Les méthodes utilisant cette approche pour établir la réponse en champ libre sont parfois appelées des techniques de quasi-champ libre.

Les techniques de filtrage temporel ont cependant leurs propres limitations dans les fréquences basses, lesquelles limitations doivent être prises en compte en même temps que les limitations de l'espace d'essai évoquées ci-dessus.

Différentes techniques de filtrage temporel ont été développées, et des exemples en sont décrits à l'Annexe B.

6.3 La source de son

La source sonore consiste habituellement en un haut-parleur placé dans une enceinte ou déflecteur. Toutefois d'autres types de source sonore peuvent être déployés. Des exemples de sources sonores peuvent être trouvés à l'Annexe A.

NOTE 1 Un microphone réciproque peut être piloté électriquement et utilisé comme source sonore.

La source sonore doit être capable de générer des ondes progressives planes à la position de mesure. Dans la pratique la source sonore peut ne pas rayonner d'ondes planes, mais à une distance suffisamment grande de la source, les fronts d'onde peuvent être considérés plans sur la région occupée par la référence ou le microphone en essai.

Si la source sonore est utilisée pour l'étalonnage simultané, le modèle de directivité doit aussi être connu afin que l'on puisse déterminer un choix approprié de points de mesure. Le modèle de directivité doit être stable pendant toute la durée de l'essai.

Si l'on utilise plus d'une position de mesure, il peut être souhaitable d'utiliser une source sonore ayant une directivité omnidirectionnelle dans la plage de fréquences d'utilisation.

Pour satisfaire à l'exigence de planéité des ondes sur la longueur de l'objet en essai, les mesures doivent être effectuées à l'intérieur de la région dans laquelle le champ est purement progressif.

Les autres exigences énumérées ci-dessous peuvent avoir une plus ou moins grande importance selon la méthode d'étalonnage adoptée.

La source sonore doit être capable de générer un niveau de pression acoustique suffisant aux emplacements d'essai, à toutes les fréquences intéressantes. Des niveaux de pression acoustique compris entre 70 dB et 80 dB sont habituellement suffisants, mais le niveau choisi dépendra de l'efficacité des microphones à soumettre à essai et de l'exigence du système de mesure en matière de rapport signal/bruit. La source sonore doit produire une tension de sortie stable pendant toute la durée de l'essai.

Il convient de surveiller la stabilité d'une source sonore consistant en un haut-parleur par un moyen quelconque au cours d'un étalonnage. Les options pour la surveillance de la source sonore comprennent l'usage d'un microphone de surveillance auxiliaire et l'utilisation de la répétabilité dans les résultats.

À des niveaux de sortie plus élevés, le haut-parleur peut présenter des instabilités. La stabilité de la source sonore doit, de ce fait être établie pour le type de signal d'essai utilisé. L'utilisation du signal d'entrée électrique minimal capable de fournir un rapport signal/bruit suffisant dans le montage de mesure est également recommandée.

La source sonore ne doit pas produire de composantes de distorsion pouvant générer une réponse importante du microphone en essai et/ou du microphone de référence à des fréquences autres que la fréquence d'essai.

NOTE 2 L'utilisation de filtres passe-bande appropriés peut réduire cet effet grâce à des signaux d'essai sinusoïdaux ou à bande étroite.

NOTE 3 La distorsion peut également poser un problème pour les stimuli impulsionnels lorsque des niveaux de sortie de crête élevés sont requis.

La taille de la source sonore doit être petite par rapport à la distance au(x) position(s) de mesure, afin que le son rayonné ou diffracté par les éléments désaxés de la source ou de son montage ne provoque pas d'écarts importants par rapport au comportement de champ libre idéal d'une source ponctuelle lorsque la distance de mesure varie.

Il peut être nécessaire d'utiliser un certain nombre de sources sonores, couvrant chacune des différentes parties de la plage de fréquences.

6.4 Microphone de référence

Le microphone de référence doit être un microphone étalon de laboratoire ou un microphone étalon de travail ayant une efficacité en champ libre connue et l'incertitude correspondante sur la plage de fréquences d'étalonnage souhaitée.

Le Tableau 1 indique les options d'étalonnage disponibles et l'incertitude de mesure type pour l'efficacité en champ libre, pour les types de microphone de référence disponibles.

Tableau 1 – Options d'étalonnage pour le microphone de référence et incertitude de mesure type associée

Type de microphone de référence	Méthode d'étalonnage	Références	Incertitude élargie type ($k = 2$) en dB	
			1 kHz	10 kHz
LS (étalon de laboratoire)	Étalonnage en champ libre primaire	CEI 61094-3	0,25	0,10
	Étalonnage en pression primaire avec ajout des corrections champ libre	CEI 61094-2 et CEI /TS 61094-7	0,12	0,4
	Étalonnage en pression secondaire avec ajout des corrections champ libre	CEI 61094-5 et CEI /TS 61094-7	0,15	0,5
LS et WS (étalon de travail)	Étalonnage de champ libre secondaire	La présente partie de la CEI 61094	0,2	0,5
	Étalonnage de grille d'entraînement avec ajout des corrections champ libre	CEI 61094-6	0,3	0,6

Il convient, autant que possible, de choisir la configuration du microphone de référence de façon à ce qu'elle corresponde à celle du microphone en essai.

Un microphone de référence LS1P doit être utilisé sans sa grille de protection (s'il en existe une). On peut utiliser des microphones étalons de travail avec ou sans grille de protection, mais en notant que le fait de retirer la grille de protection donnera vraisemblablement l'incertitude la plus faible. Si une grille de protection est utilisée, l'efficacité en champ libre de référence ou l'incertitude déclarée doit en tenir compte.

6.5 Microphone de contrôle

Un microphone de contrôle doit être utilisé pour détecter les variations dans le champ sonore, si cela s'avère nécessaire pour obtenir le niveau d'incertitude de mesure souhaité.

Le microphone de contrôle doit être installé de manière permanente dans un champ sonore proche de la source sonore.

Le microphone de contrôle ne doit pas perturber le champ sonore qui atteint le microphone en train d'être mesuré. Cela exige habituellement que l'on utilise un petit microphone (par exemple un microphone WS3) afin d'éviter l'effet de diffraction susceptible de déformer la propagation des ondes planes.

On doit par conséquent s'assurer que le choix du microphone de contrôle et de son emplacement n'ait pas d'influence induite sur les résultats, et de tenir compte de toute influence sur l'incertitude de mesure.

6.6 Signaux d'essai

Le signal d'essai est déterminé en grande partie par les détails de l'application et de la méthode d'étalonnage. En particulier, des méthodes de traitement du signal peuvent

nécessiter l'utilisation de types spécifiques de signal. Le choix du signal d'essai peut également dépendre des caractéristiques de la source et du mode d'utilisation.

Les signaux d'essai peuvent être les suivants:

- tonalité pure,
- sinusoïde balayée ou sinusoïde étagée,
- bruit blanc ou bruit rose large bande,
- bruit à bande étroite (par ex. un bruit de bande de troisième octave),
- bruit pseudo-aléatoire ou bruit périodique (par ex. des séquences de longueur maximale),
- tonalités de modulation de fréquence (par ex. des tonalités modulées en fréquence (FM)),
- salves de tonalité ou salves de bruit,
- effets de stridulation,
- impulsions (par ex. clics, bruits d'étincelles, etc.).

NOTE Le signal d'essai utilisé peut également imposer des exigences particulières à la source sonore, telles que la réponse en fréquence ou la plage dynamique.

6.7 Configuration pour le microphone de référence et le microphone en essai

Le microphone doit être monté sur une tige cylindrique semi-infinie ayant le même diamètre que le corps du microphone. Tout écart par rapport à cette configuration, par exemple en cas d'utilisation de fils-guides ou d'autres dispositifs pour soutenir la tige de montage, peut avoir une influence sur l'efficacité en champ libre du microphone, et l'on doit tenir compte de ces effets dans l'incertitude de mesure. En variante, si l'efficacité en champ libre du microphone en essai doit être déterminée dans une configuration de montage spécifique, cette configuration doit être utilisée pour monter le microphone en essai durant l'étalonnage.

Le préamplificateur doit être intégré à la tige de montage et doit fournir la configuration mécanique de référence du blindage qui convienne au type de microphone à soumettre à essai, comme indiqué dans la CEI 61094-1 ou la CEI 61094-4.

Si la notice d'emploi spécifie une force d'application maximale sur le contact d'électrode central du microphone, cette limite ne doit pas être dépassée.

L'exigence d'utiliser la configuration de blindage de référence ne s'applique pas aux combinaisons de microphone et de préamplificateur utilisées dans un système intégral.

Si l'on utilise des adaptateurs pour convertir un préamplificateur destiné à être utilisé avec des microphones de différentes tailles, l'adaptateur utilisé doit aussi convertir en conséquence la configuration du blindage.

7 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en champ libre

7.1 Généralités

L'efficacité en champ libre d'un microphone de mesure dépend des conditions opérationnelles et ambiantes, ainsi que de la configuration géométrique utilisée dans l'étalonnage, d'où la nécessité de spécifier ces paramètres dans la définition de l'efficacité. En outre, on doit s'assurer que ces paramètres soient suffisamment contrôlés dans le processus d'étalonnage, afin que les composantes d'incertitude résultantes puissent être prises en compte dans le bilan des incertitudes (voir Tableau 2).

En outre, le processus d'étalonnage lui-même ajoute d'autres composantes d'incertitude qui ne sont pas directement liées à l'utilisation du microphone. Celles-ci sont énumérées à l'Article 8.

7.2 Tension de polarisation

Si le microphone en essai nécessite une tension de polarisation externe, les recommandations du fabricant doivent être suivies. La tension polarisante réelle utilisée durant l'étalonnage doit être déclarée, ainsi que l'efficacité en champ libre rapportée.

Si le microphone est pré-polarisé, on doit veiller à ne pas appliquer de tension polarisante externe.

7.3 Centre acoustique du microphone

La définition de l'efficacité en champ libre d'un microphone se rapporte à la pression acoustique au centre acoustique du microphone, avant que le microphone ne soit introduit dans le champ. Lorsque l'on compare les microphones, leurs centres acoustiques doivent être positionnés en leurs points de mesure.

En variante, un point de référence défini par le fabricant (par exemple au centre du diaphragme ou de la grille de protection) doit être spécifié pour l'alignement des microphones, et la différence entre ce point et le centre acoustique doit être traitée en tant qu'incertitude sur la distance à la source sonore, et par conséquent sur la pression acoustique.

NOTE 1 Le centre acoustique du microphone est fonction de la fréquence et de la distance à la source sonore.

NOTE 2 À des distances suffisamment grandes de la source sonore, le centre acoustique peut être considéré constant.

NOTE 3 Une méthode de détermination du centre acoustique est donnée dans la CEI 61094-3.

7.4 Angle d'incidence sonore et alignement sur la source sonore

L'efficacité en champ libre d'un microphone est fonction de l'angle d'incidence, en particulier aux fréquences élevées. Certains moyens de régler de manière répétitive l'orientation du microphone doivent être utilisés.

En outre, l'alignement coaxial du microphone sur la source sonore peut provoquer des erreurs à la fois sur l'angle d'incidence et sur la pression acoustique appliquée. Certains moyens de régler répétitivement cet alignement doivent être utilisés.

7.5 Configuration du montage

La composante de l'efficacité en champ libre dérivée de la diffraction est fortement influencée par la configuration géométrique du microphone et de son montage. Le microphone doit par conséquent être étalonné dans une configuration de montage spécifiée. Si aucune configuration de ce type n'a été spécifiée, un cylindre de même diamètre que celui du corps du microphone doit être utilisé.

7.6 Influence des conditions ambiantes

L'efficacité en champ libre d'un microphone dépend 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 une plage de conditions.

L'efficacité du microphone de référence doit être corrigée en fonction des conditions ambiantes réelles présentes durant l'essai.

En variante, lorsque l'on rapporte les résultats d'un étalonnage, on peut rapporter l'efficacité en champ libre aux conditions ambiantes de référence si l'on dispose de données de correction fiables.

Les conditions réelles de l'étalonnage doivent être rapportées.

8 Composantes d'incertitudes d'un étalonnage

8.1 Généralités

En plus des grandeurs qui affectent l'efficacité en champ libre, mentionnées à l'Article 7, des composantes d'incertitude supplémentaires sont introduites par la méthode, le matériel et le niveau de précaution pris au moment de l'étalonnage.

On doit mesurer ou calculer avec une exactitude aussi élevée que possible les grandeurs qui affectent l'étalonnage de manière connue afin de réduire au maximum leur influence sur l'incertitude du résultat.

Les composantes d'incertitude décrites ci-dessous sont liées à l'exigence générale de l'étalonnage en champ libre. Dans certaines mises en œuvre spécifiques, certaines composantes peuvent ne pas avoir d'importance particulière, tandis que d'autres composantes peuvent devoir être prises en compte.

8.2 Efficacité du microphone de référence

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

On peut calculer l'efficacité du microphone de référence en appliquant des différences champ libre/pression selon la CEI/TS 61094-7 à un étalonnage à réciprocité de pression selon la CEI 61094-2. Dans ce cas, l'incertitude des deux éléments doit être prise en compte.

Si le microphone de référence nécessite 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 le calcul de l'incertitude.

8.3 Mesure de la tension 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 ou peuvent être réduites si le même système est utilisé à la fois pour le microphone en essai et pour le microphone de référence.

8.4 Différences entre la pression acoustique appliquée au microphone de référence et celle appliquée au microphone en essai

Comme indiqué en 5.1, la base d'une méthode de comparaison est que le microphone en essai et le microphone de référence sont exposés à un champ sonore ayant le même module, la même phase et le même angle d'incidence. Tout facteur conduisant à une altération de ces paramètres produit une incertitude d'étalonnage. Cela comprend:

- la précision du positionnement des microphones dans le champ sonore en ce qui concerne la distance à la source, l'alignement avec la source et l'angle d'incidence;
- la stabilité de la source sonore et l'efficacité de tout mécanisme mis en place pour la corriger;
- la symétrie du champ sonore pour les méthodes dans lesquelles le champ sonore est supposé identique en des emplacements géométriquement similaires (dans une comparaison simultanée, par exemple).

On peut évaluer cette composante de l'incertitude en déterminant la répétabilité de l'auto-étalonnage.

8.5 Influence du son indirect

Le son indirect doit avoir un angle d'incidence, une amplitude et un décalage de phase par rapport au son direct qui dépend du ou des trajets indirects. La réponse du microphone en essai au son indirect ne sera donc pas être identique à la réponse au son direct. Par conséquent, la réponse globale mesurée déviara de la réponse en champ libre souhaitée. On ne peut pas supposer non plus que le microphone de référence et le microphone en essai dévient de la même façon, car cela dépend par exemple de leur configuration géométrique.

La présence du son indirect est liée à la qualité de l'environnement de champ libre dans lequel les mesures sont effectuées. On peut l'exprimer en termes de déviation efficace (RMS) par rapport aux conditions de champ libre idéales. En l'absence de traitement du signal pour éliminer les effets du son indirect, la relation entre la qualité de l'environnement de champ libre et l'incertitude de mesure doit être établie pour le montage de mesure particulier utilisé.

NOTE Les réflexions ou les rétrodiffusions entre le microphone et la source sonore peuvent être des sources de son indirect.

8.6 Influence du traitement du signal

Si l'on utilise des techniques de filtrage temporel pour améliorer la qualité d'efficacité de l'environnement de champ libre, il convient également de prendre en considération l'efficacité de ces techniques.

La contribution de la procédure de filtrage temporel à l'incertitude de l'impédance de transfert électrique est souvent très difficile à déterminer analytiquement. On peut utiliser une approche consistant à utiliser des données d'entrée simulées. Par exemple, on peut simuler la réponse d'une cible avec et sans l'influence des réflexions, la procédure de filtrage temporel étant appliquée dans les deux cas. Dans le premier cas, on peut étudier l'influence de la procédure sur une réponse déjà satisfaisante. Dans le second, on peut évaluer l'efficacité du traitement à éliminer le son indirect.

8.7 Influence des caractéristiques du microphone et des performances du système de mesure

8.7.1 Capacitance du microphone

Si l'on n'utilise pas la méthode d'insertion de tension pour obtenir les tensions de sortie du microphone, on suppose que le gain du préamplificateur et d'autres parties de la chaîne de mesure ne varie pas lorsque l'on remplace le microphone de référence par le microphone en essai. Cependant, les différences de capacitance entre les microphones provoquent de petites variations du gain des préamplificateurs, ce qui conduit à une incertitude dans le rapport des tensions.

8.7.2 Non-linéarité du système de mesure

Le système de mesure doit mesurer un rapport de tensions. La stabilité de ce système, et sa capacité à indiquer correctement le rapport de tensions sur la plage de tensions attendue produite par les microphones, c'est-à-dire sa linéarité, a une incertitude associée.

8.7.3 Validation du système d'étalonnage

Pour valider les étalonnages effectués dans un environnement particulier ou par une méthode particulière, il convient de les comparer à des étalonnages effectués à l'aide de divers autres environnements ou par d'autres méthodes. Par exemple, la plupart des microphones peuvent être utilisés (comme récepteurs seulement si nécessaire) dans un étalonnage à réciprocité en champ libre.

Afin de couvrir la plage de fréquences complète avec une faible incertitude, il peut être nécessaire d'utiliser plus d'une installation de mesure ou d'une méthode de mesure.

8.8 Incertitude sur le niveau d'efficacité en champ libre

L'incertitude sur le niveau d'efficacité en champ libre doit être déterminée en accord avec le Guide ISO/CEI 98-3. Quand on exprime les résultats d'un étalonnage, l'incertitude – en fonction de la fréquence – doit être exprimée comme une incertitude de mesure élargie au moyen d'un facteur d'élargissement $k = 2$.

Le Tableau 2 recense une liste de composantes affectant l'incertitude d'un étalonnage. Toutes les composantes peuvent ne pas nécessairement avoir une importance particulière dans un montage d'étalonnage donné, à cause de la diversité des méthodes utilisables.

Les composantes d'incertitudes données dans le Tableau 2 sont généralement fonction de la fréquence et doivent être données sous forme d'incertitude type. Il convient que les composantes d'incertitude soient exprimées sous une forme linéaire mais une forme logarithmique est également acceptable puisque les valeurs sont très petites et que l'incertitude élargie finale obtenue par l'une ou l'autre méthode sera essentiellement la même.

Tableau 2 – Composantes d'incertitude types

Source d'incertitude	Paragraphe de référence
Efficacité en champ libre du microphone de référence	8.2
Stabilité de la source sonore	8.4
Précision du positionnement (y compris l'incertitude sur le centre acoustique)	7.3, 8.4
Alignement entre la source et le récepteur	7.4, 8.4
Qualité de l'environnement de champ libre ou influence du traitement du signal	8.5, 8.6
Influence des ondes non planes	6.3
Influence de conditions d'environnement	7.6
Tension de polarisation	7.2, 8.2
Capacitance du microphone	8.7.1
Non-linéarité du système de mesure	8.7.2
Erreur d'arrondissement	-
Répétabilité de la mesure	8.3

Dans la détermination de l'efficacité en champ libre d'un microphone étalon de travail lorsque le microphone de référence a été étalonné selon la CEI 61094-3, ou selon la CEI 61094-2 avec application des différences champ libre/pression selon la CEI/TS 61094-7, on estime qu'un étalonnage de comparaison d'un microphone du même diamètre peut permettre d'obtenir une incertitude élargie globale avec un facteur d'élargissement $k = 2$ d'environ 0,2 dB aux fréquences basses et moyennes, pouvant atteindre environ 0,5 dB à la limite de fréquence supérieure du microphone de référence (c'est-à-dire 10 kHz pour les microphones LS1/WS1 et 20 kHz pour les microphones LS2/WS2).

Annexe A (informative)

Étalonnage élémentaire par substitution dans une salle anéchoïque

A.1 Principe de la méthode

L'étalonnage par substitution est le processus consistant à utiliser un microphone de référence pour déterminer la pression acoustique en un point spécifique d'un champ libre, puis à le remplacer par le microphone en essai. Si l'on suppose qu'on peut placer les centres acoustiques des deux microphones au même point du champ sonore, et que le champ sonore reste inchangé en ce point, on peut déterminer l'efficacité en champ libre du microphone en essai à partir du rapport de la tension de sortie du microphone en essai à la tension de sortie du microphone de référence, et de l'efficacité en champ libre du microphone de référence. Sous sa forme la plus élémentaire, la méthode est mise en œuvre dans une chambre en champ libre de haute qualité ou une chambre héli-anéchoïque, en utilisant un haut-parleur comme source sonore.

En principe, la méthode peut aussi être mise en œuvre dans un boîtier d'essai en champ libre, mais il peut être nécessaire de déterminer et d'appliquer des corrections pour tenir compte des imperfections de l'environnement en champ libre.

A.2 Exemples de mise en œuvre pratique

La Figure A.1 montre un montage type dans une chambre en champ libre de haute qualité. La Figure A.2 montre une variante de montage établie dans une chambre héli-anéchoïque. Un moyen approprié pour monter le microphone, constitué d'une tige ayant le même diamètre que le corps du microphone avec un préamplificateur intégré, peut être vu sur la Figure A.1. Pour obtenir la précision la plus élevée possible, on doit maintenir une transition lisse entre la géométrie du préamplificateur et celle de la tige. Pour un support de microphone utilisé en orientation horizontale, une tige légère est préférable. À cet effet, on peut utiliser des tubes en aluminium ou en fibre de carbone. Il peut être nécessaire d'utiliser un fil-guide si la tige ne peut pas garder une forme horizontale sans être soutenue. Il est également utile de pouvoir régler la distance entre l'extrémité de la tige et le haut-parleur, en montant la tige sur un système de positionnement transversal, ce qui permet d'effectuer les étalonnages à différentes positions du champ libre. Il peut également être nécessaire de faire tourner le système de montage autour d'un point correspondant au centre acoustique du microphone si l'on doit utiliser des angles d'incidence autres que zéro degré.



IEC 1787/12

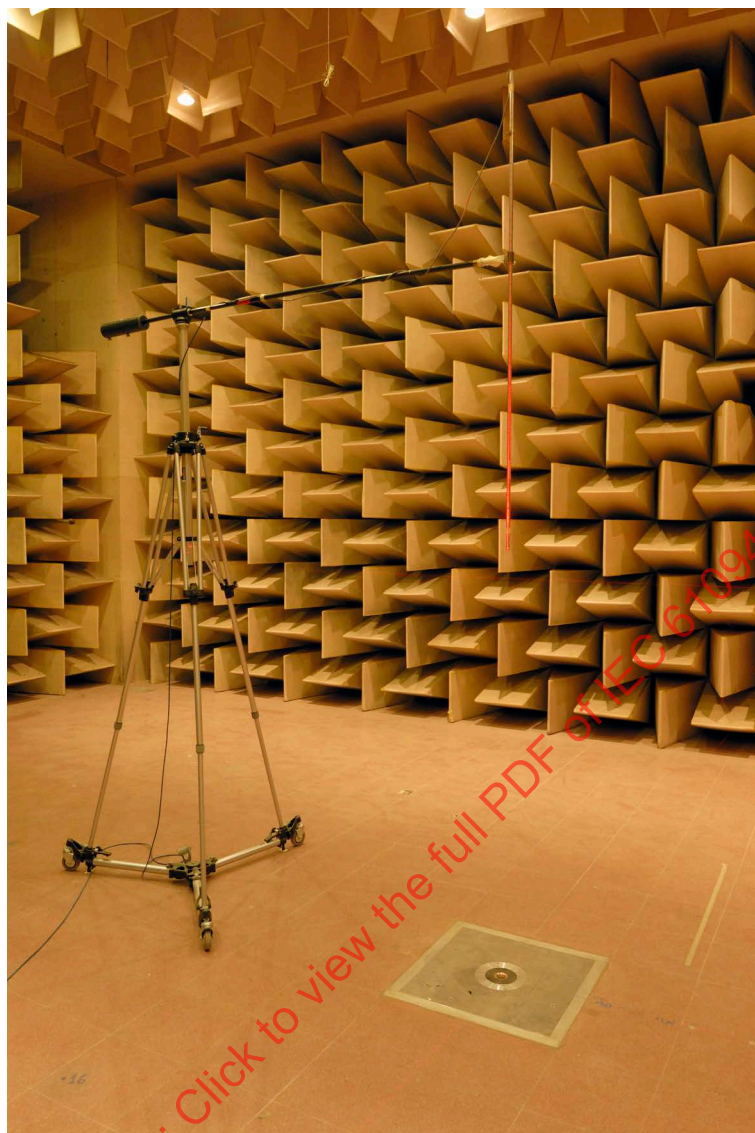
NOTE La figure n'est présentée qu'à des fins illustratives et ne représente pas nécessairement la distance de séparation à utiliser dans la réalité

Figure A.1 – Illustration du montage source/récepteur dans une salle en champ libre, dans laquelle le microphone de contrôle est intégré au haut-parleur

La région de la salle dans laquelle les étalonnages peuvent être effectués dépend en partie de la taille et de l'efficacité du haut-parleur. Un vaste choix est disponible, mais à titre d'exemple, pour un haut-parleur de diamètre 100 mm dont l'efficacité nominale est telle que 1 W de puissance électrique produit un niveau de pression acoustique de 85 dB à 1 m, les étalonnages peuvent être effectués à des distances comprises entre 1 m et 2 m de la source.

Une bonne pratique consiste à faire fonctionner la source à haut-parleur pendant à peu près dix minutes avant d'effectuer des mesures, afin de laisser sa sortie se stabiliser.

On effectue des étalonnages en mesurant séquentiellement le rapport de la tension de sortie du microphone de référence à la tension de sortie du microphone de contrôle, et le rapport de la tension de sortie du microphone en essai à la tension de sortie du microphone de contrôle. Le quotient de ces deux rapports donne le rapport de la tension de sortie du microphone en essai à la tension de sortie du microphone de référence, corrigé des variations dans la pression acoustique générée par la source. Le produit de ce rapport et de l'efficacité en champ libre du microphone de référence donne l'efficacité en champ libre du microphone en essai.



IEC 1788/12

Figure A.2 – Mise en œuvre pratique dans une salle hémianéchoïque avec une source montée au ras du sol

A.3 Exemples de sources sonores à haut-parleur

A.3.1 Caractéristiques idéalisées

Le choix du haut-parleur utilisé comme source sonore a un impact important sur la plage de fréquences et l'incertitude de mesure globale que l'on peut obtenir lors de l'étalonnage en champ libre d'un microphone. Idéalement, il convient que le haut-parleur soit suffisamment petit pour se comporter comme une source ponctuelle et conserver ses caractéristiques omnidirectionnelles jusqu'à la fréquence intéressante maximale. Il convient que son efficacité soit suffisamment élevée pour qu'il puisse générer la pression acoustique requise aux emplacements de mesure, et il convient que sa sortie soit stable dans le temps. Il convient également que la réponse en fréquence soit plate sur toute la plage d'étalonnage souhaitée. Ce point est particulièrement important si l'on utilise des signaux d'essai conçus pour fournir une réponse à bande large (par ex. des signaux d'impulsion).

Les différents modèles de haut-parleurs ne possèdent que rarement la totalité de ces caractéristiques, aussi doit-on faire des compromis. Les principaux facteurs influençant le choix d'un haut-parleur sont énumérés ci-dessous.