

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 486

Première édition — First edition

1974

**Méthode de précision pour l'étalonnage en champ libre des microphones
étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité**

**Precision method for free-field calibration of one-inch standard
condenser microphones by the reciprocity technique**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

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

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 486

Première édition — First edition

1974

**Méthode de précision pour l'étalonnage en champ libre des microphones
étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité**

**Precision method for free-field calibration of one-inch standard
condenser microphones by the reciprocity technique**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Explication des termes	6
3.1 Tension à circuit ouvert	6
3.2 Efficacité en champ libre d'un microphone	6
3.3 Impédance électrique d'un microphone	8
3.4 Impédance acoustique d'un microphone	8
3.5 Centre acoustique d'un microphone	8
3.6 Axe principal d'un microphone	8
3.7 Conditions de champ libre	8
3.8 Microphone réciproque	8
4. Principes de l'étalonnage en champ libre par la méthode de la réciprocité	10
4.1 Généralités	10
4.2 Conditions acoustiques	10
4.3 Caractéristiques d'un microphone à l'émission et à la réception	12
4.4 Procédure de la réciprocité	14
4.5 Atténuation du son dans l'air	14
4.6 Expressions finales de l'efficacité en champ libre	14
5. Précision absolue de l'étalonnage	16
5.1 Généralités	16
5.2 Précision des facteurs intervenant dans l'étalonnage	16
5.3 Précision globale	18
6. Méthodes d'étalonnage et appareillage	18
6.1 Champ libre	18
6.2 Configuration de référence du blindage	18
6.3 Technique de la tension insérée	20
6.4 Charge acoustique	20
6.5 Influence de la pression statique	20
6.6 Tension de polarisation	20
6.7 Centre acoustique du microphone	20
6.8 Tension maximale du générateur	22
6.9 Bruit	22
ANNEXE A — Tables d'atténuation du son dans l'air	24
ANNEXE B — Valeurs de la position du centre acoustique du microphone	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Explanation of terms	7
3.1 Open-circuit voltage	7
3.2 Free-field sensitivity of a microphone	7
3.3 Electrical impedance of a microphone	9
3.4 Acoustic impedance of a microphone	9
3.5 Acoustic centre of a microphone	9
3.6 Principal axis of a microphone	9
3.7 Free-field conditions	9
3.8 Reciprocal microphone	9
4. Principles of a free-field reciprocity calibration	11
4.1 General	11
4.2 Acoustic conditions	11
4.3 Receiving and transmitting characteristics of a microphone	13
4.4 Reciprocity procedure	15
4.5 Attenuation of sound in air	15
4.6 Final expressions for the free-field sensitivity	15
5. Absolute accuracy of calibration	17
5.1 General	17
5.2 Accuracy of factors influencing a calibration	17
5.3 Overall accuracy	19
6. Calibration methods and equipment	19
6.1 Free field	19
6.2 Reference configuration of ground shield	19
6.3 Insert voltage technique	21
6.4 Acoustic loading	21
6.5 Dependence on static pressure	21
6.6 Polarizing voltage	21
6.7 Acoustic centre of the microphone	21
6.8 Maximum generator voltage	23
6.9 Noise	23
APPENDIX A — Tables of air attenuation	25
APPENDIX B — Values of the position of the acoustic centre of the microphone	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE DE PRÉCISION POUR L'ÉTALONNAGE EN CHAMP LIBRE
DES MICROPHONES ÉTALONS À CONDENSATEUR D'UN POUCE
PAR LA TECHNIQUE DE LA RÉCIPROCITÉ**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 29C: Dispositifs de mesure, du Comité d'Etudes N° 29 de la CEI: Electroacoustique.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Londres en avril 1971. A la suite de la réunion tenue à Oslo en septembre 1972, un projet, document 29C(Bureau Central)22, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1973.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Norvège
Australie	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Corée (République de)	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PRECISION METHOD FOR FREE-FIELD CALIBRATION
OF ONE-INCH STANDARD CONDENSER MICROPHONES
BY THE RECIPROCITY TECHNIQUE**

FOREWORD

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

PREFACE

This recommendation has been prepared by Sub-Committee 29C, Measuring Devices, of IEC Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

A first draft was discussed at the meeting held in London in April 1971. As a result of the meeting held in Oslo in September 1972, a draft, document 29C(Central Office)22, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Belgium
Canada
Czechoslovakia
Denmark
Germany
Israel
Japan

Korea (Republic of)
Norway
Romania
South Africa (Republic of)
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom

MÉTHODE DE PRÉCISION POUR L'ÉTALONNAGE EN CHAMP LIBRE DES MICROPHONES ÉTALONS À CONDENSATEUR D'UN POUCE PAR LA TECHNIQUE DE LA RÉCIPROCITÉ

1. Domaine d'application

La présente recommandation décrit une méthode d'étalonnage, par la technique de la réciprocité en champ libre, des capsules microphoniques à condensateur d'un pouce utilisées comme étalons de laboratoire.

2. Objet

L'objet de la présente recommandation est de spécifier des méthodes pour mesurer, avec une grande précision, certaines caractéristiques de microphones étalons à condensateur, afin que les discussions entre les laboratoires d'essais puissent être fondées sur des résultats clairement exprimés et reproductibles. Bien que l'étalonnage en champ libre des microphones à condensateur soit un problème général, la présente recommandation (en ce qui concerne les figures, les mesures et les valeurs numériques) se limite aux microphones habituellement appelés microphones à condensateur d'un pouce, dont le diamètre extérieur nominal est de $0,936 \text{ in} = 23,77 \text{ mm}$.

Note. — La méthode est décrite de manière détaillée de façon qu'on puisse estimer la précision globale d'un étalonnage quelconque.

3. Explication des termes

3.1 Tension à circuit ouvert

La tension à circuit ouvert d'un microphone à une fréquence donnée est la tension apparaissant à ses bornes électriques quand le microphone n'est pas chargé électriquement.

Cependant, en raison de la nature capacitive de la capsule, la tension aux bornes électriques dépendra de la charge électrique constituée par le montage mécanique du microphone. Pour les besoins de la présente recommandation, la tension à circuit ouvert est la tension apparaissant aux bornes électriques de la capsule mesurée par la technique de la tension insérée, quand le microphone est fixé à un blindage ayant la configuration de référence de la CEI mais n'est pas chargé électriquement par ailleurs (voir les paragraphes 6.2 et 6.3).

Unité: le volt, V.

3.2 Efficacité en champ libre d'un microphone

L'efficacité en champ libre M_f d'un microphone à une fréquence donnée et pour une onde sinusoïdale est le rapport de la tension à circuit ouvert du microphone à la pression acoustique qui existait au point où se trouve le centre acoustique du microphone, avant son introduction dans le champ acoustique. Le champ acoustique doit être une onde plane progressive, en champ libre, et l'angle d'incidence par rapport à l'axe principal du microphone doit être nul, sauf spécification contraire. Ce rapport est une quantité complexe, mais lorsqu'on n'attache pas d'importance à la phase, l'efficacité en champ libre peut être donnée par le module seulement.

Unité: le volt par pascal, V/Pa.

Notes 1. — On a omis l'indice U du symbole préférentiel M_{fU} puisque, dans toute la présente recommandation, l'efficacité est exprimée en fonction de la tension à circuit ouvert.

2. — On pourrait noter que le terme « réponse en champ libre » est parfois utilisé à la place de « efficacité en champ libre ».

3. — A des fréquences suffisamment basses pour que les perturbations du champ acoustique créées par le microphone soient négligeables, l'efficacité en champ libre diffère peu de l'efficacité en pression.

PRECISION METHOD FOR FREE-FIELD CALIBRATION OF ONE-INCH STANDARD CONDENSER MICROPHONES BY THE RECIPROCITY TECHNIQUE

1. Scope

This recommendation describes a method for the free-field reciprocity calibration of one-inch condenser microphone capsules used as laboratory standards.

2. Object

The object of this recommendation is to specify methods of measuring certain characteristics of standard condenser microphones with high accuracy, so that discussions between testing authorities may be based on clearly expressed and reproducible results. Although the free-field calibration of condenser microphones is a problem of a general nature, this recommendation (as regards specific figures, measures and numbers) is restricted to microphones commonly known as one-inch condenser microphones, having a nominal outer diameter of 0.936 in = 23.77 mm.

Note. — The method is described in detail so that the overall precision obtained in any calibration can be estimated.

3. Explanation of terms

3.1 Open-circuit voltage

The open-circuit voltage of a microphone at a given frequency is the voltage appearing at its electrical terminals when the microphone is electrically unloaded.

However, owing to the capacitive nature of the cartridge, the voltage at the electrical terminals will depend on the electrical load caused by the mechanical attachment to the microphone. For the purpose of this recommendation, the open-circuit voltage is the voltage appearing at the electrical terminals of the cartridge as measured by the insert voltage technique when the microphone is attached to a ground shield having the IEC reference configuration, but is otherwise electrically unloaded (see Sub-clauses 6.2. and 6.3).

Unit: volt, V.

3.2 Free-field sensitivity of a microphone

The free-field sensitivity M_f of a microphone at a given frequency and for a sinusoidal waveform is the ratio of the open-circuit voltage of the microphone to the sound pressure that existed at the position of the acoustic centre of the microphone prior to the introduction of the microphone into the sound field. The sound field shall be a plane progressive wave under free-field conditions, and the angle of incidence with respect to the principal axis of the microphone shall be zero unless otherwise specified. This ratio is a complex quantity, but when the phase information is of no interest, the free-field sensitivity may denote its modulus only.

Unit: volt per pascal, V/Pa.

Notes 1. — The subscript U is omitted from the preferred symbol M_{fU} since the sensitivity is expressed in terms of the open-circuit voltage throughout this recommendation.

2. — It should be noted that the term "free-field response" is sometimes used instead of "free-field sensitivity".

3. — At frequencies sufficiently low for the disturbance of the sound field by the microphone to be negligible, the free-field sensitivity approaches the pressure sensitivity.

3.2.1 Niveau d'efficacité en champ libre d'un microphone

Le niveau d'efficacité en champ libre relatif à une efficacité de référence M_r est défini par la formule $20 \log_{10} \left| \frac{M_f}{M_r} \right|$ dans laquelle $M_r = 1 \text{ V/Pa}$.

Unité: le décibel, dB.

3.2.2 Argument de l'efficacité en champ libre d'un microphone

L'argument de l'efficacité en champ libre d'un microphone à une fréquence donnée est la différence de phase entre la tension à circuit ouvert et la pression acoustique qui existait au point où se trouve le centre acoustique du microphone, avant son introduction dans le champ acoustique.

Unité: le degré ou le radian.

3.3 Impédance électrique d'un microphone

L'impédance électrique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la tension appliquée à ses bornes électriques au courant qui en résulte.

Unité: l'ohm, Ω .

Note. — Cette impédance est une fonction de la charge acoustique sur la membrane et de la configuration du blindage.

3.4 Impédance acoustique d'un microphone

Pour les besoins de la présente recommandation, l'impédance acoustique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la pression acoustique uniformément répartie sur toute la surface de la membrane au flux de vitesse à travers cette surface, les bornes électriques n'étant pas chargées.

Unité: le pascal seconde par mètre cube, Pa.s/m^3 .

3.5 Centre acoustique d'un microphone

Pour un transducteur émetteur sonore, à une fréquence donnée et pour une direction et une distance spécifiées, le centre acoustique est le point d'où semblent diverger les surfaces d'ondes approximativement sphériques qu'on observe dans une petite région autour du point considéré.

Note. — Le centre acoustique d'un transducteur réciproque utilisé en récepteur coïncide avec le centre acoustique du même transducteur utilisé en émetteur.

3.6 Axe principal d'un microphone

L'axe principal d'un microphone est la droite perpendiculaire à la membrane du microphone passant par le centre de cette membrane.

3.7 Conditions de champ libre

Les conditions de champ libre prédominent quand une onde acoustique peut se propager librement sans perturbation d'aucune sorte.

3.8 Microphone réciproque

Considérons un microphone passif linéaire.

A une fréquence particulière donnée, appelons:

p la représentation complexe de la pression acoustique sur la membrane

U la représentation complexe de la tension aux bornes électriques du microphone

q la représentation complexe du flux de vitesse de la membrane

I la représentation complexe du courant entre les bornes électriques du microphone

3.2.1 Free-field sensitivity level of a microphone

The free-field sensitivity level relative to a reference sensitivity M_r is defined as $20 \log_{10} \left| \frac{M_f}{M_r} \right|$ where M_r is 1 V/Pa.

Unit: decibel, dB.

3.2.2 Free-field sensitivity phase angle of a microphone

The free-field sensitivity phase angle of a microphone at a given frequency is the phase angle between the open-circuit voltage and the sound pressure at the position of the acoustic centre of the microphone prior to the introduction of the microphone into the sound field.

Unit: degree or radian.

3.3 Electrical impedance of a microphone

The electrical impedance of a microphone at a given frequency is the complex ratio of the voltage applied across its electrical terminals to the resulting current.

Unit: ohm, Ω .

Note. — This impedance is a function of the acoustic load on the diaphragm and of the groundshield configuration.

3.4 Acoustic impedance of a microphone

For the purpose of this recommendation, the acoustic impedance of a microphone at a given frequency is the complex ratio of the sound pressure to the volume velocity of the diaphragm, the sound pressure being uniformly applied to the diaphragm and the electrical terminals being unloaded.

Unit: pascal second per cubic metre, Pa.s/m³.

3.5 Acoustic centre of a microphone

For a sound-emitting transducer, at a given frequency and at a specified direction and distance, the acoustic centre is the point from which the approximately spherical wavefronts, as observed in a small region around the observation point, appear to diverge.

Note. — The acoustic centre of a reciprocal transducer when used as a receiver is coincident with the acoustic centre when used as a transmitter.

3.6 Principal axis of a microphone

The principal axis of a microphone is the line through the centre of, and perpendicular to, the diaphragm of the microphone.

3.7 Free-field conditions

Free-field conditions prevail when a sound wave can propagate freely without disturbance of any kind.

3.8 Reciprocal microphone

Consider a linear, passive microphone.

At a given single frequency, let:

p be the complex representation of the sound pressure at the diaphragm

U be the complex representation of the voltage at the electrical terminals of the microphone

q be the complex representation of the volume velocity of the diaphragm

I be the complex representation of the current through the electrical terminals of the microphone

Les équations liant les caractéristiques du microphone peuvent alors être écrites comme suit :

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + Z_{22} q = p \end{cases} \quad (1)$$

où :

Z_{11} est l'impédance électrique du microphone quand la membrane est bloquée

Z_{22} est l'impédance acoustique du microphone quand il n'est pas chargé électriquement

On dit que le microphone est réciproque si les coefficients de transduction Z_{12} et Z_{21} sont tels que $Z_{12} = \pm Z_{21}$.

Lorsque la pression acoustique p n'est pas uniforme sur la surface de la membrane, comme c'est le cas aux fréquences élevées lorsque le microphone est dans une onde plane progressive, la localisation des bornes acoustiques n'est pas claire. Dans ce cas, une interprétation spéciale devra être donnée à p dans l'équation (1) (voir le paragraphe 4.3).

Pour tout transducteur réciproque et pour une orientation donnée, il existe un transducteur ponctuel équivalent qui possède les caractéristiques du transducteur réel en des points éloignés, tant à la réception qu'à l'émission. Ce transducteur ponctuel équivalent est situé au centre acoustique du transducteur réel pour cette direction particulière (voir le paragraphe 3.5).

4. Principes de l'étalonnage en champ libre par la méthode de la réciprocité

4.1 Généralités

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

4.1.1 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones

Considérons deux de ces microphones placés dans des conditions de champ libre. Utilisons l'un d'entre eux comme source sonore et l'autre comme récepteur sonore. On mesure le rapport de la tension de sortie à circuit ouvert du récepteur au courant d'entrée de l'émetteur. Lorsque les propriétés du couplage acoustique du système sont connues, le produit des efficacités en champ libre des deux microphones couplés peut être déterminé (voir le paragraphe 4.4). En effectuant des combinaisons des microphones (a), (b) et (c) deux à deux, on obtient trois produits indépendants desquels on peut déduire l'expression de l'efficacité en champ libre pour chacun des trois microphones.

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

Ces deux microphones sont d'abord couplés acoustiquement dans des conditions de champ libre; le produit des efficacités en champ libre de ces deux microphones couplés est déterminé (voir le paragraphe 4.1.1). Le rapport des deux efficacités en champ libre peut être déterminé en soumettant successivement les deux microphones à la même pression acoustique fournie par la source sonore auxiliaire placée dans des conditions de champ libre. Ainsi, à partir du produit et du rapport des efficacités en champ libre des deux microphones, on peut déduire une expression donnant l'efficacité en champ libre de chacun d'entre eux.

4.2 Conditions acoustiques

La définition de l'efficacité en champ libre d'un microphone fait mention de la pression acoustique pour une onde plane progressive non perturbée. Dans le champ lointain d'une source sonore placée dans des conditions de champ libre, des ondes sphériques sont produites qui, à une distance suffisante de la source, sont peu différentes d'ondes planes progressives dans un espace limité. Ainsi, la distance entre le microphone récepteur et le microphone émetteur doit être suffisamment grande pour qu'on ait l'assurance d'avoir des ondes approximativement planes dans un espace convenable autour du microphone récepteur (voir le paragraphe 5.2.7).

En revanche, l'influence des perturbations dues à l'environnement augmente lorsque la distance entre les deux microphones s'accroît. Par conséquent, il faut choisir avec soin les conditions métrologiques afin que les exigences du paragraphe 5.2.8 soient satisfaites.

The equations of the microphone can then be written as:

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + Z_{22} q = p \end{cases} \quad (1)$$

where:

Z_{11} is the electrical impedance of the microphone when the diaphragm is blocked

Z_{22} is the acoustic impedance of the microphone when the electrical terminals are unloaded

The microphone is said to be reciprocal if the transduction coefficients Z_{12} and Z_{21} are such that $Z_{12} = \pm Z_{21}$.

When sound pressure p is not uniform over the surface of the diaphragm, as will be the case at high frequencies when the microphone is located in a plane progressive wave, the location of the acoustical terminals is not obvious. In this case, a special interpretation of p in equation (1) will be necessary (see Sub-clause 4.3).

For a given orientation of any reciprocal transducer, an equivalent point-transducer exists which simulates the receiving as well as the transmitting characteristics of the real transducer at remote points. This equivalent point-transducer is located at the position of the acoustic centre of the real transducer for that particular direction (see Sub-clause 3.5).

4. Principles of a free-field reciprocity calibration

4.1 General

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

4.1.1 General principles of the method using three microphones

Let two of the microphones be located under free-field conditions. Using one of them as a sound source and the other as a sound receiver, the ratio of the output open-circuit voltage of the receiver to the input current of the transmitter is measured. When the acoustic coupling properties of the system are known, the product of the free-field sensitivities of the two coupled microphones can be determined (see Sub-clause 4.4). Using pairwise combinations of the microphones (a), (b) and (c), three independent products are available, from which an expression for the free-field sensitivity of each of the three microphones can be derived.

4.1.2 General principles of the method using two microphones and an auxiliary sound source

First let the two microphones be coupled acoustically under free-field conditions and the product of the free-field sensitivities of the two coupled microphones be determined (see Sub-clause 4.1.1). The ratio of the two free-field sensitivities can be determined by presenting the two microphones sequentially to the same sound pressure set up by the auxiliary sound source under free-field conditions. Thus, from the product and the ratio of the free-field sensitivities of the two microphones, an expression for the free-field sensitivity of each of the microphones can be derived.

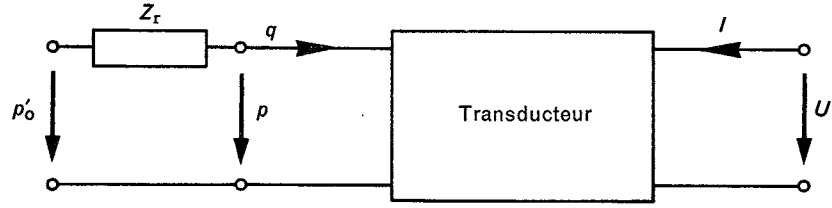
4.2 Acoustic conditions

The definition of the free-field sensitivity of a microphone refers to the sound pressure in an undisturbed plane progressive wave. In the far field of a sound source located under free-field conditions, spherical waves are generated which, at a sufficient distance from the source, approximate to plane progressive waves in a limited region. Thus, the distance between the receiver microphone and the transmitter microphone shall be great enough to ensure an approximately plane wave in a suitable region around the receiver microphone (see Sub-clause 5.2.7).

On the other hand, the influence of disturbing surroundings increases as the distance between the two microphones is increased. Therefore, the metrological conditions should be carefully chosen, so that the requirements of Sub-clause 5.2.8 are satisfied.

4.3 Caractéristiques d'un microphone à l'émission et à la réception

Considérons un microphone soumis à une onde plane progressive, en champ libre, la pression acoustique correspondante étant p_o . Le circuit équivalent du microphone est donné à la figure 1:



412/74

FIGURE 1

où: p est la pression acoustique existant réellement et p_o la pression acoustique qui existe aux bornes acoustiques du microphone lorsque sa membrane est bloquée. Z_r est l'impédance de rayonnement du microphone. p_o peut être relié à p_o par la relation:

$$\frac{p_o}{p_o} = S(f, \theta)$$

dans laquelle $S(f, \theta)$ est le facteur de diffraction, fonction de la fréquence et de l'angle d'incidence de l'onde sur la membrane du microphone. $S(f, \theta)$ dépend de la configuration géométrique du microphone.

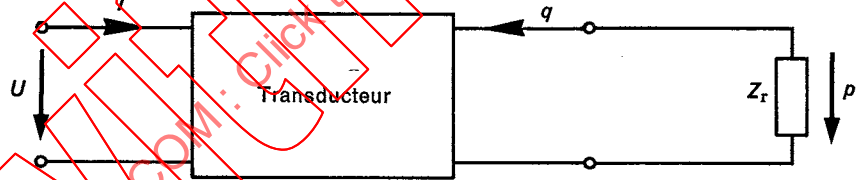
Comme $p = p_o - Z_r q$, les équations de réciprocité (1) peuvent être écrites comme suit:

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + (Z_{22} + Z_r) q = p_o \end{cases} \quad (2)$$

à partir de la définition de base, on obtient donc l'efficacité en champ libre:

$$M_f = \left(\frac{U}{p_o} \right) I = 0 = \frac{Z_{12}}{Z_{22} + Z_r} S(f, \theta) \quad (3)$$

Utilisons ensuite ce microphone comme émetteur sonore en champ libre. Le circuit équivalent est représenté à la figure 2.



413/74

FIGURE 2

Comme $p = -Z_r q$, les équations (1) deviennent:

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + (Z_{22} + Z_r) q = 0 \end{cases} \quad (4)$$

il résulte que

$$-q = \frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_r} I = \frac{M_f}{S(f, \theta)} I$$

Du principe général de la réciprocité, on peut déduire que le microphone agira en un point éloigné comme une source simple de débit $-q S(f, \theta) = M_f I$ et la pression acoustique p_o à la distance d sera alors:

$$p_o = j \frac{e f}{2d} M_f I \exp [jk(ct - d)] \quad (5)$$

d étant la distance du centre acoustique du microphone au point considéré.

Note. — L'équation (5) ci-dessus a été obtenue en représentant le microphone par un modèle à constantes localisées (voir équation (1)). Une représentation plus rigoureuse peut être obtenue en utilisant une forme intégrale pour les équations du microphone.

4.3 Receiving and transmitting characteristics of a microphone

Let a microphone be placed in a free-field progressive plane wave of sound pressure p_o . The equivalent circuit of the microphone is given in Figure 1:

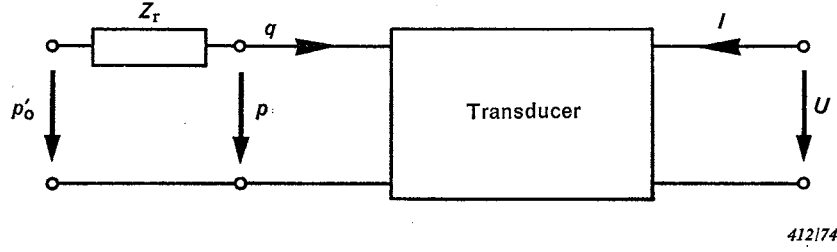


FIGURE 1

where: p is the actual sound pressure and p_o the sound pressure when the diaphragm is blocked at the acoustical terminals of the microphone. Z_r is the radiation impedance of the microphone. Let p_o be related to p_o through:

$$\frac{p_o}{p_o} = S(f, \theta)$$

where $S(f, \theta)$, the scattering factor, is a function of frequency and angle of incidence of the sound wave impinging on the diaphragm of the microphone. $S(f, \theta)$ depends on the geometrical configuration of the microphone.

As $p = p_o - Z_r q$, the equations of reciprocity (1) can be written as:

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + (Z_{22} + Z_r) q = p_o \end{cases} \quad (2)$$

and thus, from the basic definition, the free-field sensitivity is given by:

$$M_f = \left(\frac{U}{p_o} \right) I = 0 = \frac{Z_{12}}{Z_{22} + Z_r} S(f, \theta) \quad (3)$$

Next, let the microphone be used as transmitter in a free field. The equivalent circuit is shown in Figure 2.

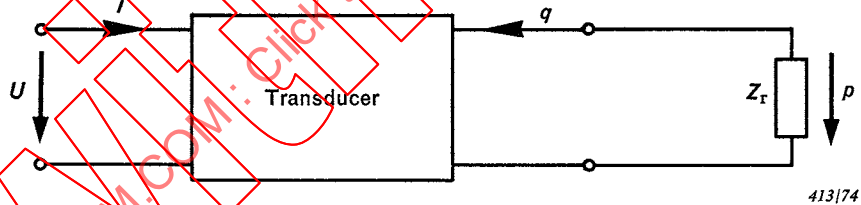


FIGURE 2

As $p = -Z_r q$, equations (1) become:

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + (Z_{22} + Z_r) q = 0 \end{cases} \quad (4)$$

so that:

$$-q = \frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_r} I = \frac{M_f}{S(f, \theta)} I$$

From the general principle of reciprocity, it can be deduced that the microphone at a remote point will act as a simple source of strength $-q S(f, \theta) = M_f I$ and the sound pressure p_o at a distance d will then be:

$$p_o = j \frac{e f}{2d} M_f I \exp [jk(ct - d)] \quad (5)$$

d being the distance from the acoustic centre of the microphone to the observation point.

Note. — The derivation of equation (5) given above is based on a lumped parameter representation of the microphone (see equation (1)). A more rigorous derivation can be obtained by using an integral form of representation of the equations of the microphone.

4.4 Procédure de la réciprocité

Considérons deux microphones (a) et (b), d'efficacités en champ libre $M_f^{(a)}$ et $M_f^{(b)}$, placés face à face dans un champ libre et ayant des axes principaux confondus. Un courant I_a entre les bornes électriques du microphone (a) produira une pression acoustique p_o donnée par l'équation (5) en un point situé à une distance d du centre acoustique du microphone, dans des conditions de champ libre. Lorsqu'on introduit le microphone (b) dans le champ acoustique et si l'on suppose qu'aucune interaction n'ait lieu entre les deux microphones, la tension à circuit ouvert U_b aux bornes électriques du microphone sera :

$$U_b = M_f^{(b)} p_o = j \frac{\rho f}{2d_{ab}} M_f^{(a)} M_f^{(b)} I_a \exp(-j k d_{ab})$$

Le produit des efficacités en champ libre est donc donné par :

$$M_f^{(a)} M_f^{(b)} = -j \frac{2d_{ab}}{\rho f} \left(\frac{U_b}{I_a} \right) \exp(j k d_{ab}) \quad (6)$$

où d_{ab} est la distance qui sépare les centres acoustiques des microphones.

4.5 Atténuation du son dans l'air

Dans la pratique, les ondes acoustiques se propageant en champ libre subissent une atténuation due aux effets de la relaxation moléculaire et des pertes thermiques par viscosité.

Cette atténuation dépend de la fréquence du son, du contenu de l'air en vapeur d'eau et de sa température. On peut en tenir compte en introduisant dans l'équation (5) un coefficient d'atténuation dans l'air α .

L'équation (6) corrigée devient alors :

$$M_f^{(a)} M_f^{(b)} = -j \frac{2d_{ab}}{\rho f} \frac{U_b}{I_a} \exp[(\alpha + jk) d_{ab}] \quad (7)$$

4.6 Expressions finales de l'efficacité en champ libre

4.6.1 Méthode utilisant trois microphones

En tenant compte de la correction mentionnée au paragraphe 4.5, l'expression finale de l'efficacité en champ libre du microphone (a) — lorsque toutes les quantités sont exprimées en unités du Système International — est donnée par :

$$|M_f^{(a)}| = \left[\frac{2}{\rho f} \frac{d_{ab} d_{ca}}{d_{bc}} \frac{|U_b/I_a| \cdot |U_a/I_c|}{|U_c/I_b|} \exp\{\alpha (d_{ab} + d_{ca} - d_{bc})\} \right]^{1/2}$$

où :

$|U_b/I_a|$, $|U_a/I_c|$, $|U_c/I_b|$ sont les modules des impédances électriques de transfert des combinaisons respectives a-b, c-a et b-c des microphones, mesurées successivement

d_{ab} , d_{ca} , d_{bc} sont les distances séparant les centres acoustiques des microphones, dans les combinaisons respectives a-b, c-a et b-c, mesurées successivement

f est la fréquence

ρ est la masse volumique de l'air

α est le coefficient d'atténuation du son dans l'air

Des expressions similaires peuvent être obtenues pour les microphones (b) et (c).

Note. — On tient plus facilement compte de la correction due à l'absorption de l'air en ajoutant le terme :

$$\frac{1}{2} \Delta_A (d_{ab} + d_{ca} - d_{bc})$$

à la valeur non corrigée du niveau d'efficacité en champ libre du microphone (a) (voir le paragraphe 3.2.1) où $\Delta_A = 8,686 \alpha$ est l'atténuation du son dans l'air exprimée en décibels par mètre. Les valeurs de Δ_A sont données dans l'annexe A.

4.4 Reciprocity procedure

Let two microphones (a) and (b) with free-field sensitivities $M_f^{(a)}$ and $M_f^{(b)}$ be situated in a free field facing each other and with coincident principal axes. A current I_a through the electrical terminals of microphone (a) will produce a sound pressure p_o given by equation (5) at a distance d from the acoustic centre of the microphone under free-field conditions. When introducing microphone (b) into the sound field and assuming no interaction takes place between the two microphones, the open-circuit voltage U_b at the electrical terminals of the microphone will be:

$$U_b = M_f^{(b)} p_o = j \frac{\rho f}{2d_{ab}} M_f^{(a)} M_f^{(b)} I_a \exp(-j k d_{ab})$$

Thus, the product of the free-field sensitivities is given by:

$$M_f^{(a)} M_f^{(b)} = -j \frac{2d_{ab}}{\rho f} \left(\frac{U_b}{I_a} \right) \exp(j k d_{ab}) \quad (6)$$

where d_{ab} is the distance between the acoustic centres of the microphones.

4.5 Attenuation of sound in air

Under practical conditions, sound waves propagating in a free field will be attenuated due to molecular relaxation effects and to thermo-viscous losses.

This attenuation depends on the frequency of the sound, the water vapour content and the temperature of the air. It can be taken into account by introducing an air attenuation coefficient α in equation (5).

As a result thereof, equation (6) can be corrected to read:

$$M_f^{(a)} M_f^{(b)} = -j \frac{2d_{ab}}{\rho f} \frac{U_b}{I_a} \exp[(\alpha + jk) d_{ab}] \quad (7)$$

4.6 Final expressions for the free-field sensitivity

4.6.1 Method using three microphones

Taking into account the correction in Sub-clause 4.5, the final expression for the free-field sensitivity of microphone (a), all quantities being in SI units, is:

$$|M_f^{(a)}| = \left[\frac{2}{\rho f} \frac{d_{ab} d_{ca}}{d_{bc}} \frac{|U_b/I_a| \cdot |U_a/I_c|}{|U_c/I_b|} \exp\{\alpha(d_{ab} + d_{ca} - d_{bc})\} \right]^{1/2}$$

where:

$|U_b/I_a|$, $|U_a/I_c|$, $|U_c/I_b|$ are the moduli of the electrical transfer impedances of the combinations a-b, c-a and b-c respectively of the microphones, measured sequentially

d_{ab} , d_{ca} , d_{bc} are the distances between the acoustic centres of the combinations a-b, c-a and b-c respectively of the microphones, measured sequentially

f is the frequency

ρ is the air density

α is the attenuation coefficient of sound in air

Similar expressions apply for microphones (b) and (c).

Note. — The correction for absorption of sound in air is most easily applied by adding the term:

$$\frac{1}{2} \Delta_A (d_{ab} + d_{ca} - d_{bc})$$

to the uncorrected value of the free-field sensitivity level of microphone (a) (see Sub-clause 3.2.1) where $\Delta_A = 8.686 \alpha$ is the attenuation of sound in air expressed in decibels per metre. Values of Δ_A are given in Appendix A.

4.6.2 Méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire

En tenant compte de la correction mentionnée au paragraphe 4.5, l'expression finale de l'efficacité en champ libre du microphone (a) — lorsque toutes les quantités sont exprimées en unités du Système International — est donnée par :

$$|M_f^{(a)}| = \left[\frac{2}{ef} d_{ab} |U_b/I_a| \cdot |U_a/U_b| \exp(ad_{ab}) \right]^{1/2}$$

une expression similaire peut être donnée pour le microphone (b) avec :

$$|U_a/U_b| = |M_f^{(a)}/M_f^{(b)}|$$

(voir le paragraphe 4.1.2)

5. Précision absolue de l'étalonnage

5.1 Généralités

Plusieurs facteurs ont une influence sur la précision absolue de l'étalonnage par la méthode de la réciprocité. En plus des facteurs intervenant dans la formule du paragraphe 4.5, l'efficacité en champ libre dépend de la tension de polarisation. D'autres facteurs, tels que les conditions de champ libre approchées et le fait que l'étalonnage est effectué en ondes sphériques au lieu d'ondes planes, seront la cause d'erreurs qu'il est difficile de corriger dans la pratique.

5.2 Précision des facteurs intervenant dans l'étalonnage

Les facteurs qui interviennent d'une façon connue dans l'étalonnage doivent être mesurés avec la plus grande précision possible et il est conseillé que les quantités ci-dessous soient mesurées avec au moins la précision spécifiée :

5.2.1 Tension de polarisation

La tension de polarisation du microphone doit être mesurée avec une précision de 0,05%.

5.2.2 Masse volumique de l'air

La masse volumique de l'air doit être mesurée avec une précision de 0,1%.

Note. — Cette quantité, qui est une fonction de la pression statique et de la température, est calculée à partir de la formule :

$$\rho = 1,2930 \frac{p_s}{1,013 \cdot 10^5} \frac{273,16}{T} \text{ en kg/m}^3$$

p_s étant la pression statique en pascal et T la température absolue en kelvin.

5.2.3 Fréquence

Lorsque la fréquence entre directement dans le calcul de l'efficacité en champ libre, elle doit être mesurée avec une précision de 0,1%. Autrement, elle ne doit être mesurée qu'avec une tolérance de 0,1% ou ± 1 Hz, la plus grande des deux valeurs étant applicable.

5.2.4 Impédance électrique de transfert

Les impédances électriques de transfert (par exemple $|U_b/I_a|$, voir le paragraphe 4.6) doivent être déterminées avec une précision de 0,2%.

5.2.5 Correction d'atténuation de l'air

La correction d'atténuation de l'air doit être déterminée avec une précision de 0,02 dB (voir le paragraphe 4.6 et l'annexe A).

5.2.6 Distance entre les centres acoustiques des microphones

La distance d_{ab} séparant les centres acoustiques des microphones utilisée dans l'équation (6) doit être déterminée avec une précision de 0,5%.

4.6.2 Method using two microphones and an auxiliary sound source

Taking into account the correction in Sub-clause 4.5, the final expression for the free-field sensitivity of microphone (a), all quantities being in SI units, is:

$$|M_f^{(a)}| = \left[\frac{2}{ef} d_{ab} |U_b/I_a| \cdot |U_a/U_b| \exp(ad_{ab}) \right]^{1/2}$$

with a similar expression for microphone (b), where:

$$|U_a/U_b| = |M_f^{(a)}/M_f^{(b)}|$$

(see Sub-clause 4.1.2).

5. Absolute accuracy of calibration

5.1 General

Several factors will influence the absolute accuracy of a reciprocity calibration. In addition to the factors present in the formula in Sub-clause 4.5, the free-field sensitivity depends on the polarizing voltage. Other factors, such as non-ideal free-field conditions and the fact that the calibration is carried out in a spherical sound wave instead of a plane wave, will produce errors which in practice are difficult to correct.

5.2 Accuracy of factors influencing a calibration

Factors which affect the calibration in a known way shall be measured with as high an accuracy as practicable and it is advisable that the following quantities be measured with at least the accuracy stated.

5.2.1 Polarizing voltage

The polarizing voltage of the microphone shall be measured with an accuracy of 0.05%.

5.2.2 Air density

The air density shall be determined with an accuracy of 0.1%.

Note. — This quantity, being a function of static pressure and temperature, is calculated from the formula:

$$\rho = 1.2930 \frac{p_s}{1.013 \cdot 10^5} \frac{273.16}{T} \text{ in kg/m}^3$$

p_s being the static pressure in pascal and T the absolute temperature in kelvin.

5.2.3 Frequency

When the frequency enters directly into the calculation of the free-field sensitivity, it shall be measured with an accuracy of 0.1%. Otherwise, it need only be measured with a tolerance of 0.1% or ± 1 Hz, whichever is the greater.

5.2.4 Electrical transfer impedance

The electric transfer impedances (e.g. $|U_b/I_a|$, see Sub-clause 4.6) shall be determined with an accuracy of 0.2%.

5.2.5 Air attenuation correction

The air attenuation correction shall be determined with an accuracy of 0.02 dB (see Sub-clause 4.6 and Appendix A).

5.2.6 Distance between the acoustic centres of the microphones

The distance d_{ab} between the acoustic centres of the microphones to be used in equation (6) shall be determined with an accuracy of 0.5%.

5.2.7 *Écarts par rapport à une onde plane*

Afin d'être certain d'obtenir la condition d'ondes planes dans une région convenable entourant le microphone récepteur, il est recommandé que la distance entre les deux microphones soit supérieure à 20 cm pendant l'étalonnage; dans ce cas, la distribution de pression acoustique sur la membrane ne différera pas de plus de 0,2 dB de celle que fournirait une onde plane parfaite, correspondant à une erreur de 0,05 dB pour la tension de sortie du microphone.

5.2.8 *Écarts par rapport aux conditions de champ libre*

Il est recommandé que les écarts par rapport à la loi de décroissance du son en champ libre (pression inversement proportionnelle à la distance), en excluant l'atténuation de l'air, ne soient pas supérieurs à 0,1 dB dans la région comprise entre la source et le microphone récepteur pendant l'étalonnage.

5.3 *Précision globale*

La précision globale qui peut être obtenue dans un étalonnage par la méthode de la réciprocité dépend de la précision de l'appareillage d'étalonnage auxiliaire, de la stabilité et du mode de construction des appareils de métrologie utilisés pour l'étalonnage.

Si on respecte les précisions données ci-dessus, on estime que la précision globale est voisine de 0,1 dB aux fréquences moyennes et diminue jusqu'à 0,2 dB environ à 20 kHz.

Note. — L'écart type pour des mesures répétées doit être bien inférieur aux précisions absolues mentionnées ci-dessus.

6. Méthodes d'étalonnage et appareillage

6.1 *Champ libre*

Les étalonnages doivent être effectués en champ libre. Cette condition est obtenue de la manière la plus pratique dans une chambre anéchoïque où le vent et les bruits aériens sont absents. Comme les matériaux absorbants disposés sur les murs n'ont pas des propriétés idéales et que la salle a des dimensions finies, il se produit des réflexions sur les murs qui entraînent des écarts par rapport à la loi en $1/r$. L'importance de ces écarts dépend de la distance à la source et de la direction considérée. Les plus petits écarts par rapport à la loi en $1/r$ sont généralement obtenus dans une région autour du centre de la salle et pour une direction qui n'est ni parallèle ni perpendiculaire à l'un quelconque des murs de la salle. Cependant, la présence de systèmes d'attache, de treillages, de câbles, de supports de toute sorte, etc., est aussi la cause de perturbations du champ acoustique.

L'influence de ces réflexions perturbatrices ne peut être réduite à des niveaux acceptables qu'en apportant un soin tout particulier à la métrologie de l'étalonnage.

De la même façon, des ondes stationnaires peuvent se produire entre les membranes des microphones. Pour amoindrir ces effets, il peut être nécessaire de disposer les plans des membranes de façon à ce qu'ils fassent un angle de quelques degrés.

6.2 *Configuration de référence du blindage*

Conformément au paragraphe 3.1, la tension à circuit ouvert doit être mesurée aux bornes électriques du microphone quand celui-ci est relié à un blindage de référence spécifié. Dans ce but, la configuration indiquée à la figure 3 doit être utilisée, l'écran étant relié à la terre.

Si quelque autre montage est utilisé, on devra vérifier que l'efficacité en pression — ou en champ libre — mesurée est affectée de moins de 0,02 dB par rapport à sa valeur lorsqu'on utilise la configuration de référence.

Note. — Si le constructeur spécifie une valeur maximale pour la force à appliquer au contact électrique central du microphone, cette valeur limite ne doit pas être dépassée.

5.2.7 *Deviations from a plane wave*

In order to ensure proper plane-wave conditions in a suitable region around the receiving microphone, it is recommended that the distance between the two microphones during the calibration should be greater than 20 cm, in which case the sound pressure distribution over the diaphragm will not deviate by more than 0.2 dB from that obtained by a perfect plane wave corresponding to an error of 0.05 dB in the output voltage of the microphone.

5.2.8 *Deviations from free-field conditions*

It is recommended that deviations from the inverse pressure/distance law, excluding the air attenuation, should not be greater than 0.1 dB in the region between the source and the receiver microphone during a calibration.

5.3 *Overall accuracy*

The overall accuracy which can be obtained by a reciprocity calibration depends on the accuracy of the auxiliary calibration equipment and the stability and construction of the metrology instruments used for the calibration.

If the accuracies given above are achieved, it is estimated that the overall accuracy is approximately 0.1 dB at middle frequencies decreasing to about 0.2 dB at 20 kHz.

Note. — The standard deviation on the repeatability of the measurements shall be kept well below the above-mentioned absolute accuracies.

6. Calibration methods and equipment

6.1 *Free field*

The calibrations shall be carried out in a free field. This condition is most practically obtained in an anechoic room where wind and airborne noise are absent. Due to the non-ideal performance of the absorption material lining the walls and the finite size of the room, some reflections from the walls will occur and result in deviations from the $1/r$ -law. The magnitude of these deviations will depend on the distance from and the direction to the source. Normally, the smallest deviations from the $1/r$ -law are obtained in a region around the centre of the room and for a direction neither parallel nor perpendicular to any of the walls of the room. However, the presence of braces, grillwork, cables, supports of various kinds, etc., will also give rise to disturbance in the sound field.

The influence of these disturbing reflections can be reduced to acceptable levels only by exercising the utmost care when establishing the metrology of the calibration.

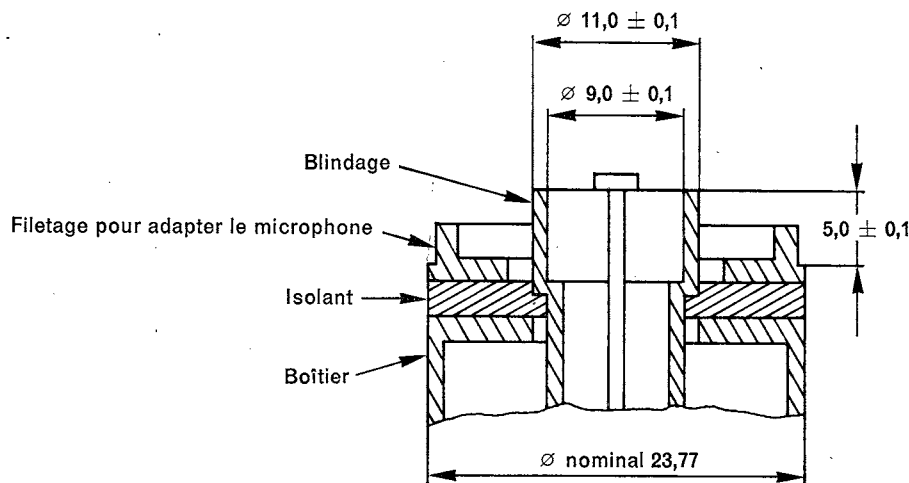
Also standing waves may build up between the diaphragms of the microphones. To minimize this effect, it may be necessary to arrange for an angle of a few degrees between the planes of the two diaphragms.

6.2 *Reference configuration of ground shield*

In accordance with Sub-clause 3.1, the open-circuit voltage shall be measured at the electrical terminals of the microphone when it is attached to a specified ground-shield configuration. For that purpose, the configuration shown in Figure 3 shall be used. The shield should be connected to ground potential.

If any other configuration is used, it should be ascertained that the measured pressure—or free-field—sensitivity is affected by less than 0.02 dB compared to the reference configuration.

Note. — Where the manufacturer specifies a maximum force to be applied to the central electrical contact of the microphone, this limit shall not be exceeded.



Dimensions en millimètres

FIGURE 3

6.3 Technique de la tension insérée

La technique de la tension insérée (ou méthode de substitution) est utilisée pour déterminer la tension à circuit ouvert d'un microphone lorsque celui-ci est chargé électriquement.

Considérons un microphone ayant une impédance interne et une tension à circuit ouvert données, relié à une impédance de charge. Afin de mesurer la tension à circuit ouvert, une impédance petite par rapport à l'impédance de charge est mise en série avec le microphone et une tension d'étalonnage lui est appliquée.

Appliquons alternativement une pression acoustique et une tension d'étalonnage de même fréquence. On ajuste la tension d'étalonnage jusqu'à ce qu'elle donne la même chute de tension à travers l'impédance de charge que celle qui résulte de l'application de la pression acoustique sur le microphone; les amplitudes de la tension d'étalonnage mesurée et de la tension à circuit ouvert seront alors égales.

6.4 Charge acoustique

L'efficacité en champ libre d'un microphone dépend de la configuration géométrique du boîtier du préamplificateur. Pour cette raison, il est recommandé de monter le microphone et le blindage (voir le paragraphe 6.2) sur un cylindre dont le diamètre est égal au diamètre nominal du microphone (23,77 mm). La longueur de ce cylindre devra être grande par rapport au diamètre du microphone. Cette disposition s'applique aussi au microphone émetteur.

6.5 Influence de la pression statique

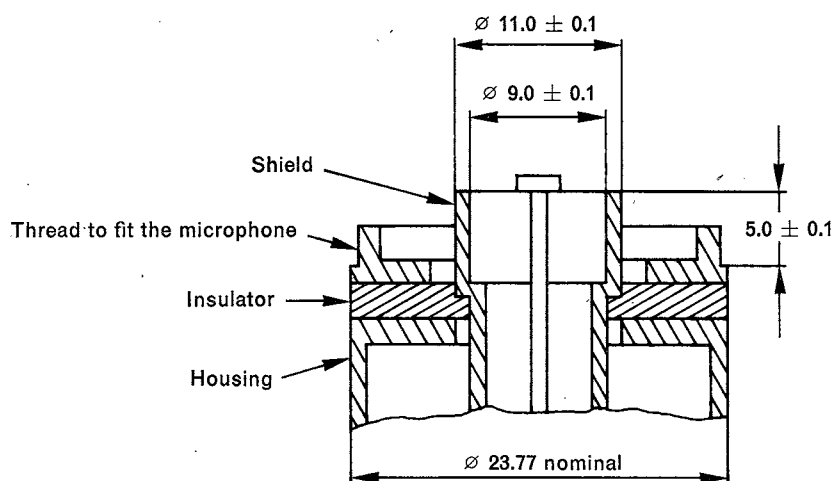
La résistance et l'élasticité acoustiques de la cavité derrière la membrane et par suite l'efficacité du microphone dépendent de la pression statique. Cette influence est faible. Elle peut être évaluée pour un microphone à étudier en effectuant des étalonnages par la méthode de la réciprocité à différentes valeurs de la pression statique.

6.6 Tension de polarisation

Dans le but d'obtenir la précision recommandée pour la tension de polarisation, on doit avoir la possibilité de mesurer cette tension directement aux bornes de la capsule.

6.7 Centre acoustique du microphone

La position du centre acoustique d'un microphone, défini au paragraphe 3.5, peut être déterminée à partir de la pression acoustique produite par le microphone lorsqu'il est utilisé comme source sonore en champ libre, en fonction de la distance à un point de référence du microphone choisi arbitrairement. Dans toute région limitée de la zone de champ lointain, la pression acoustique suit la loi en $1/r$ (r étant mesuré par rapport au centre acoustique du micro-



Dimensions in millimetres

FIGURE 3

6.3 Insert voltage technique

The insert voltage technique (also referred to as the substitution method) is used to determine the open-circuit voltage of a microphone when it is electrically loaded.

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

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

6.4 Acoustic loading

The free-field sensitivity of a microphone depends on the geometrical configuration of the housing containing the preamplifier. For this reason, it is recommended that the microphone and the ground shield (see Sub-clause 6.2) should be attached to a cylinder whose diameter is equal to the nominal diameter of the microphone (23.77 mm). The length of this cylinder shall be long compared to the diameter of the microphone. This arrangement shall also apply to the transmitter microphone.

6.5 Dependence on static pressure

The resistance and compliance of the cavity behind the diaphragm and thus the sensitivity of the microphone depends on the static pressure. This dependence is small. It can be determined for a microphone under test by making reciprocity calibrations at different static pressures.

6.6 Polarizing voltage

To obtain the recommended accuracy on the polarizing voltage, provision should be made for measuring this voltage directly at the terminals of the cartridge.

6.7 Acoustic centre of the microphone

The position of the acoustic centre of a microphone, as defined in Sub-clause 3.5, can be determined from measurements of the sound pressure produced by the microphone when used as a sound source in a free field, as a function of the distance from an arbitrarily chosen reference point of the microphone. In any limited region of the far field, the sound pressure will follow the $1/r$ -law, r being referred to the acoustic centre of the microphone.

phone). Lorsqu'on porte sur un graphique l'inverse de la valeur de la pression acoustique mesurée en fonction de la distance à un point de référence du microphone choisi arbitrairement (pour plus de commodité, le centre de la membrane), on peut tracer une ligne droite au milieu des points représentatifs. L'intersection de cette ligne droite avec l'axe des abscisses détermine la position du centre acoustique par rapport au point de référence. Les positions des centres acoustiques servant à déterminer d_{ab} (voir les paragraphes 4.4 et 4.6) doivent correspondre à l'orientation et à la distance qui sépare les microphones pendant les étalonnages en champ libre.

Des valeurs typiques de la position du centre acoustique de quelques microphones sont données dans l'annexe B.

6.8 Tension maximale du générateur

La tension utilisée pour l'excitation du microphone émetteur doit être telle que la présence d'harmoniques n'introduise pas une erreur supérieure à 0,05 dB dans la détermination du niveau d'efficacité en champ libre.

6.9 Bruit

Le bruit ou toute autre influence parasite, telle que la diaphonie, d'origine acoustique ou autre, ne doit pas affecter la détermination du niveau d'efficacité en champ libre de plus de 0,05 dB. Des filtres à bande passante étroite peuvent être utilisés afin d'améliorer le rapport signal à bruit.

Thus, when plotting the inverse value of the measured sound pressure as a function of the distance from an arbitrarily chosen reference point of the microphone (most conveniently the centre of the diaphragm), a straight line can be drawn through the plotted values. The intersection of this straight line and the abscissa axis determines the position of the acoustic centre relative to the reference point. The acoustic centres used to determine d_{ab} (see Sub-clauses 4.4 and 4.6) should relate to the orientation and separation used during the free-field calibrations.

Typical values for the position of the acoustic centre for some microphone configurations are given in Appendix B.

6.8 *Maximum generator voltage*

The voltage used to excite the transmitter microphone should be such that the presence of harmonics introduces an error of less than 0.05 dB in the determination of the free-field sensitivity level.

6.9 *Noise*

Noise, or other interference such as cross-talk, whether of acoustical or other origin, shall not affect the determination of the free-field sensitivity level by more than 0.05 dB. Narrow band-pass filters may be used to improve the signal-to-noise ratio.

Withd 2021
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60486:1974

ANNEXE A

TABLES D'ATTÉNUATION DU SON DANS L'AIR

Les tables ci-après contiennent les valeurs de l'atténuation du son dans l'air en fonction de la fréquence, de la température et de l'humidité relative. Ces tables sont valables pour des distances inférieures à 2 m.

Multiplier par 10^{-2} les valeurs données dans ces tables pour obtenir l'atténuation en décibels par mètre.

(Référence: DELANY and BAZLEY. Values of air attenuation for use in the free-field calibration of microphones—National Physical Laboratory Aero Report Ac45—1970).

APPENDIX A

TABLES OF AIR ATTENUATION

The tables below contain values of the attenuation of sound in air as a function of frequency, temperature and relative humidity. The tables are considered valid for distances below 2 m.

Multiply by 10^{-2} the values given in these tables in order to obtain the attenuation expressed in decibels per metre.

(Reference: DELANY and BAZLEY. Values of air attenuation for use in the free-field calibration of microphones—National Physical Laboratory Aero Report Ac45—1970).

Withd 2019
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60486:1974

Fréquence Frequency Hz	Température } 16 °C Temperature		Humidité relative % Relative humidity %												
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
2 000	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 500	4	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 150	5	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
4 000	8	6	5	5	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
5 000	11	9	8	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3
6 300	16	14	12	10	9	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4
8 000	21	20	18	15	14	12	11	10	9	8	8	7	7	7	6
10 000	26	26	25	22	20	18	16	15	14	13	12	11	10	10	9
12 500	32	34	33	31	29	26	24	22	20	19	18	17	16	15	14
16 000	38	43	44	43	41	39	36	33	31	29	27	26	24	23	22
20 000	44	51	55	56	55	53	51	48	45	42	40	38	36	34	33
25 000	50	60	67	70	72	71	70	67	64	61	58	55	53	51	49

Fréquence Frequency Hz	Température } 18 °C Temperature		Humidité relative % Relative humidity %												
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
2 000	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 500	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 150	5	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
4 000	7	6	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
5 000	11	9	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3
6 300	15	13	11	9	8	7	7	6	5	5	5	4	4	4	4
8 000	21	19	16	14	13	11	10	9	8	8	7	7	6	6	6
10 000	28	26	24	21	19	17	15	14	13	12	11	10	10	9	9
12 500	34	35	33	30	27	24	22	20	19	17	16	15	14	14	13
16 000	42	45	45	43	40	37	34	31	29	27	25	23	23	21	20
20 000	50	56	58	57	55	52	48	45	42	40	38	36	34	32	30
25 000	58	67	72	74	74	71	68	65	61	58	55	52	50	47	45

Température } 20 °C Temperature		Humidité relative % Relative humidity													
Fréquence Hz	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
2 000	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 500	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 150	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
4 000	7	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
5 000	10	8	7	6	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
6 300	15	12	10	9	7	7	6	5	5	5	4	4	4	4	4
8 000	21	19	15	13	12	10	9	8	8	7	7	6	6	6	6
10 000	28	25	22	19	17	15	14	13	12	11	10	9	9	8	8
12 500	36	35	32	28	25	23	21	19	17	16	15	14	13	13	12
16 000	46	47	45	42	38	34	32	29	27	25	23	22	21	20	19
20 000	55	59	60	57	54	49	46	43	40	37	35	33	31	30	28
25 000	65	73	76	76	74	70	66	62	58	55	52	49	46	44	42
Température } 22 °C Temperature															
2 000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 500	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 150	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
4 000	6	5	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
5 000	9	7	6	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
6 300	14	11	9	8	7	6	5	5	5	4	4	4	4	4	4
8 000	20	17	14	12	11	9	8	8	7	7	6	6	6	5	5
10 000	28	24	21	18	16	14	13	12	11	10	9	9	8	8	8
12 500	37	34	30	26	23	21	19	17	16	15	14	13	12	12	11
16 000	48	48	44	39	35	32	29	27	25	23	22	20	19	18	17
20 000	60	62	60	56	51	47	43	40	37	35	32	31	29	27	26
25 000	72	78	79	77	72	67	62	58	55	51	48	46	43	41	39

Température } 24 °C Temperature		Humidité relative % Relative humidity %														
Fréquence Frequency Hz		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
2 000	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 500	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 150	4	4	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
4 000	6	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5 000	8	7	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6 300	13	10	8	7	6	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4
8 000	19	15	13	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6	5	5	5
10 000	27	22	19	17	14	13	13	12	11	10	9	9	8	8	8	7
12 500	37	32	28	24	22	19	19	17	16	15	14	13	12	11	11	11
16 000	50	47	42	37	33	30	30	27	25	23	21	20	19	18	17	16
20 000	63	63	59	53	48	44	44	40	37	35	32	30	28	27	26	24
25 000	78	62	80	75	69	64	64	59	55	51	48	45	43	41	39	37

Température } 26 °C Temperature																
2 000	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 500	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 150	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
4 000	6	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5 000	8	7	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6 300	13	10	8	7	6	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4
8 000	19	15	13	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6	5	5	5
10 000	27	22	19	17	14	13	13	12	11	10	9	9	8	8	8	7
12 500	37	32	28	24	22	19	19	17	16	15	14	13	12	11	11	11
16 000	50	47	42	37	33	30	30	27	25	23	21	20	19	18	17	16
20 000	63	63	59	53	48	44	44	40	37	35	32	30	28	27	26	24
25 000	78	82	80	75	69	64	64	59	55	51	48	45	43	41	39	37