

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60565**

Première édition
First edition
1977-01

Etalonnage des hydrophones

Calibration of hydrophones



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60565: 1977

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60565**

Première édition
First edition
1977-01

Etalonnage des hydrophones

Calibration of hydrophones

Withdrawn

© IEC 1977 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
LISTE DES SYMBOLES	8
Articles	
1. Domaine d'application	12
2. Objet	12
3. Définitions	12
3.1 Champ libre	12
3.2 Champ lointain	12
3.3 Centre acoustique	12
3.4 Hydrophone	12
3.5 Projecteur acoustique sous-marin	14
3.6 Transducteur réversible	14
3.7 Transducteur réciproque	14
3.8 Tension en circuit ouvert d'un hydrophone	14
3.9 Sensibilité en champ libre d'un hydrophone	14
3.10 Sensibilité en pression d'un hydrophone	14
3.11 Réponse à l'émission en courant d'un projecteur	16
3.12 Bornes électriques d'un transducteur réciproque	16
3.13 Impédance électrique d'un transducteur	16
3.14 Module de l'impédance électrique de transfert d'un couple de transducteurs	16
3.15 Pistonphone	18
3.16 Colonne vibrante	18
3.17 Pression de bruit équivalente	18
3.18 Dynamique	18
3.19 Réponse directive	18
3.20 Axe principal	18
3.21 Directivité isotrope	18
3.22 Familles de transducteurs directifs	20
3.23 Système de coordonnées	20
4. Procédés d'étalonnage	20
4.1 Principes	20
4.2 Limites de champ	22
4.3 Choix schématique des procédés	22
5. Préparation des transducteurs	22
5.1 Mouillage	22
5.2 Support de l'hydrophone	22
5.3 Influence du câble	24
6. Mesures électriques	24
6.1 Forme du signal	24
6.2 Mise à la masse	24
6.3 Mesure de la tension de sortie de l'hydrophone	24
6.4 Mesure du courant traversant le projecteur	26
6.5 Mesure du module de l'impédance de transfert	28
7. Etalonnage en champ libre par réciprocité	30
7.1 Domaine d'application	30
7.2 Objet	30
7.3 Principe général	30
7.4 Théorie	30
7.5 Distance entre émetteur et récepteur	34
7.6 Distance minimale entre transducteurs et surfaces limites	34
7.7 Forme du signal	36
7.8 Limites en fréquence	36
7.9 Mesures	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
LIST OF SYMBOLS	9
Clause	
1. Scope	13
2. Purposes	13
3. Definitions	13
3.1 Free field	13
3.2 Far field	13
3.3 Acoustic centre	13
3.4 Hydrophone	13
3.5 Underwater sound projector	15
3.6 Reversible transducer	15
3.7 Reciprocal transducer	15
3.8 Open-circuit voltage at hydrophone	15
3.9 Free-field sensitivity of a hydrophone	15
3.10 Pressure sensitivity of a hydrophone	15
3.11 Transmitting response to current of a projector	17
3.12 Electrical terminals of a reciprocal transducer	17
3.13 Electrical impedance of a transducer	17
3.14 Electrical transfer impedance magnitude of a transducer pair	17
3.15 Pistonphone	19
3.16 Vibrating column	19
3.17 Equivalent noise pressure	19
3.18 Dynamic range	19
3.19 Directional response	19
3.20 Principal axis	19
3.21 Omnidirectionality	19
3.22 Types of directional transducers	21
3.23 Co-ordinate system	21
4. Procedures for calibration	21
4.1 Principles	21
4.2 Field limitations	23
4.3 Schematic survey of procedures	23
5. Preparation of the transducers	23
5.1 Wetting	23
5.2 Hydrophone support	23
5.3 Influence of the cable	25
6. Electrical measurements	25
6.1 Signal type	25
6.2 Earthing	25
6.3 Measurement of hydrophone output voltage	25
6.4 Measurement of projector current	27
6.5 Measurement of transfer impedance magnitude	29
7. Free-field reciprocity calibration	31
7.1 Scope	31
7.2 Object	31
7.3 General principle	31
7.4 Theory	31
7.5 Separation distance	35
7.6 Minimum distance from transducers to boundary surfaces	35
7.7 Signal type	37
7.8 Frequency limitations	37
7.9 Measurements	39

Articles	Pages
8. Etalonnage en champ libre par comparaison	42
8.1 Domaine d'application	42
8.2 Objet	42
8.3 Principe	42
8.4 Comparaison avec un hydrophone étalon	44
8.5 Etalonnage à l'aide d'un projecteur étalonné	46
9. Compensation dans une chambre fermée	48
9.1 Domaine d'application	48
9.2 Objet	48
9.3 Introduction	48
9.4 Etalonnage selon la compensation électrodynamique	48
9.5 Etalonnage selon la compensation piézo-électrique	52
9.6 Réalisation de la chambre de compensation électrodynamique	56
9.7 Réalisation de la chambre de compensation piézo-électrique	58
9.8 Limites pratiques de la méthode de compensation électrodynamique	60
9.9 Limites pratiques de la méthode de compensation piézo-électrique	60
10. Etalonnage avec un pistonphone, entre 1 Hz et 50 Hz (à l'étude)	62
11. Etalonnage avec une colonne vibrante, entre 10 Hz et 3 kHz (à l'étude)	62
ANNEXE A — Mesure du module de l'impédance de transfert par la méthode de substitution	64
ANNEXE B — Mesure du module de l'impédance de transfert par la méthode de lecture directe	70
ANNEXE C — Emploi de la technique par impulsions dans l'étalonnage en champ libre	78
ANNEXE D — Réponse directive d'un hydrophone	84
BIBLIOGRAPHIE	88

Clause	Page
8. Free-field calibration by comparison	43
8.1 Scope	43
8.2 Object	43
8.3 Principle	43
8.4 Comparison with a standard hydrophone	45
8.5 Calibration with a calibrated projector	47
9. Compensation in a closed chamber	49
9.1 Scope	49
9.2 Object	49
9.3 Introduction	49
9.4 Calibration by electrodynamic compensation	49
9.5 Calibration by piezoelectric compensation	53
9.6 Design of the electrodynamic compensation chamber	57
9.7 Design of the piezoelectric compensation chamber	59
9.8 Practical limitations of the electrodynamic compensation method	61
9.9 Practical limitations of the piezoelectric compensation method	61
10. Calibration with a pistonphone, between 1 Hz and 50 Hz (under consideration)	63
11. Calibration with a vibrating column, between 10 Hz and 3 kHz (under consideration)	63
APPENDIX A — Measurement of transfer impedance magnitude by the substitution method	65
APPENDIX B — Measurement of the transfer impedance magnitude by the direct read-out method	71
APPENDIX C — Pulse technique in free-field calibration	79
APPENDIX D — Directional response of a hydrophone	85
BIBLIOGRAPHY	88

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTALONNAGE DES HYDROPHONES

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 norme a été établie par le Sous-Comité 29D: Ultrasons, du Comité d'Etudes N° 29: Electroacoustique.

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Vedbaek en 1968, à Stresa en 1969, à Londres en 1971, à Oslo en 1972 et à Moscou en 1974. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 29D(Bureau Central)8, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1975.

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

Allemagne
Australie
Autriche
Belgique
Chine
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
France
Israël
Japon

Pays-Bas
Pologne
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Turquie
Union des Républiques Socialistes
Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 27: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique.
50(08): Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), chapitre 08: Electroacoustique.
263: Echelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires.
486: Méthode de précision pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité.
500: Hydrophone étalon CEI.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALIBRATION OF HYDROPHONES

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 29D, Ultrasonics, of IEC Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

Drafts were discussed at the meetings held in Vedbaek in 1968, in Stresa in 1969, in London in 1971, in Oslo in 1972 and in Moscow in 1974. As a result of the latter meeting, a draft, Document 29D(Central Office)8, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Poland
Austria	Romania
Belgium	Sweden
China	Switzerland
Denmark	Turkey
France	Union of Soviet Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Israel	United States of America
Japan	
Netherlands	

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 27:	Letter Symbols to be Used in Electrical Technology.
50(08):	International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 08, Electro-acoustics.
263:	Scales and Sizes for Plotting Frequency Characteristics and Polar Diagrams.
486:	Precision Method for Free-field Calibration of One-inch Standard Condenser Microphones by the Reciprocity Technique.
500:	IEC Standard Hydrophone.

LISTE DES SYMBOLES

A	Surface sensible réelle du transducteur
a	Dimension linéaire du transducteur
B	Densité de flux du champ magnétique à travers la bobine du transducteur
C	Capacité
C_c	Complaisance acoustique des parois de la chambre
C_{mt}	Complaisance mécanique de la chambre
C_t	Complaisance acoustique de la chambre
C_w	Complaisance acoustique du volume d'eau dans la chambre
c	Vitesse du son dans l'eau
D	Diamètre moyen de la coque cylindrique
D_1	Indice de directivité
d	Distance entre projecteur et hydrophone
d_{31}	Module piézo-électrique
E	Module de Young
f	Fréquence
g	Accélération de la pesanteur
H	Facteur de correction de dimension dans l'équation (A9)
h	Hauteur de la colonne d'eau
I	Courant
I_P	Courant à travers le projecteur
I_T	Courant à travers le transducteur
I_c	Courant de compensation à travers le projecteur d'équilibre
K	Atténuation de l'atténuateur étalonné
L	Longueur de la cuve ou de la chambre
l	Longueur du conducteur de la bobine du transducteur
M_t	Sensibilité en champ libre
M_H	Sensibilité en champ libre de l'hydrophone
M_T	Sensibilité en champ libre du transducteur
M_p	Sensibilité en pression
M_o	Constantes de sensibilité (annexe B)
m	Masse d'eau à l'intérieur de la chambre
p	Pression acoustique
R	Résistance
R_c	Résistance de mesure du courant
R_i	Résistance de tension insérée
R_θ	Facteur de directivité
r	Rayon de l'enveloppe du transducteur
dS	Elément différentiel de surface sur une sphère
S	Réponse à l'émission en courant
S_P	Réponse à l'émission en courant d'un projecteur
S_T	Réponse à l'émission en courant d'un transducteur
t	Épaisseur d'une coque cylindrique
U	Tension
U_c	Tension de compensation au projecteur d'équilibre
U_H	Tension en circuit ouvert d'un hydrophone
U_P	Tension d'alimentation de projecteur
U_R	Tension aux bornes d'une résistance
U_T	Tension d'alimentation de transducteur

LIST OF SYMBOLS

A	Effective sensitive area of transducer
a	Linear dimension of transducer
B	Flux density of magnetic field through transducer coil
C	Capacitance
C_c	Acoustic compliance of chamber walls
C_{mt}	Mechanical compliance of chamber
C_t	Acoustical compliance of chamber
C_w	Acoustical compliance of water volume in chamber
c	Speed of sound in water
D	Mean diameter of cylindrical shell
D_i	Directivity index
d	Distance between projector and hydrophone
d_{31}	Piezoelectric modulus
E	Young's modulus
f	Frequency
g	Gravitational constant
H	Dimensional correction factor in equation (A9)
h	Height of water column
I	Current
I_P	Current through projector
I_T	Current through transducer
I_c	Compensation current through null projector
K	Attenuation of calibrated attenuator
L	Length of tank or chamber
l	Conductor length of transducer coil
M_f	Free field sensitivity
M_H	Free field sensitivity of hydrophone
M_T	Free field sensitivity of transducer
M_p	Pressure sensitivity
M_o	Sensitivity constants (Appendix B)
m	Mass of water inside chamber
p	Sound pressure
R	Resistance
R_c	Current measuring resistance
R_i	Insert voltage resistance
R_θ	Directivity factor
r	Radius of transducer shell
dS	Differential area on a sphere
S	Transmitting response to current
S_P	Transmitting response to current of a projector
S_T	Transmitting response to current of a transducer
t	Thickness of cylindrical shell
U	Voltage
U_c	Compensating voltage at null projector
U_H	Open circuit voltage at hydrophone
U_P	Transmitting voltage at projector
U_R	Voltage across resistor
U_T	Transmitting voltage at transducer

U_{PH}	Tension en circuit ouvert d'un hydrophone, à partir d'un projecteur de source sonore
U_{TH}	Tension en circuit ouvert d'un hydrophone, à partir d'un transducteur de source sonore
U_{PT}	Tension en circuit ouvert d'un transducteur, à partir d'un projecteur de source sonore
V	Volume d'eau
x	Déplacement du transducteur d'équilibre, amplitude de vibration
Y	Facteur de transmission d'atténuateur
Z	Impédance
Z_{RC}	Impédance de circuit R-C
Z_{PH}	Impédance de transfert d'un projecteur et d'un hydrophone
Z_{TH}	Impédance de transfert d'un transducteur et d'un hydrophone
Z_{PT}	Impédance de transfert d'un transducteur et d'un projecteur
γ	Gain d'un amplificateur
θ	Angle vertical
λ	Longueur d'onde du son dans l'eau
ρ	Masse volumique de l'eau
σ	Coefficient de Poisson
φ	Angle d'azimut
κ	Rapport des chaleurs spécifiques

Withdrawn

U_{PH}	Open circuit voltage at hydrophone, from a projector as sound source
U_{TH}	Open circuit voltage at hydrophone, from a transducer as sound source
U_{PT}	Open circuit voltage at transducer, from a projector as sound source
V	Water volume
x	Displacement of null transducer, vibration amplitude
Y	Transmission factor of attenuator
Z	Impedance
Z_{RC}	Impedance of R-C circuit
Z_{PH}	Transfer impedance of projector and hydrophone
Z_{TH}	Transfer impedance of transducer and hydrophone
Z_{PT}	Transfer impedance of transducer and projector
γ	Gain of amplifier
θ	Vertical angle
λ	Wavelength of sound in water
ρ	Density of water
σ	Poisson's modulus
φ	Azimuth angle
κ	Ratio of specific heats

Withdrawn

ÉTALONNAGE DES HYDROPHONES

1. Domaine d'application

La présente norme spécifie les méthodes de mesure de la sensibilité d'un hydrophone, en particulier dans la bande de fréquences 1 Hz à 1 MHz. Elle établit les règles de présentation des résultats d'étalonnage.

2. Objet

Définir les procédés d'étalonnage d'hydrophones.

3. Définitions

Les symboles littéraux, la terminologie et les échelles et formats des diagrammes doivent être conformes aux Publications 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique; 50(08) de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), chapitre 08: Electroacoustique; 263 de la CEI: Echelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires, et à la Norme ISO 31.

3.1 *Champ libre*

Champ acoustique se développant dans un milieu homogène et isotrope dans lequel les effets des limites sont négligeables.

3.2 *Champ lointain*

Champ acoustique à une distance de la source acoustique où les valeurs instantanées de la pression acoustique et de la vitesse des particules du fluide sont pratiquement en phase.

Notes 1. — Dans le champ lointain, la pression acoustique semble correspondre à une divergence sphérique à partir d'un point situé sur ou au voisinage de la surface rayonnante. Par suite, la pression due à la source acoustique est inversement proportionnelle à la distance de la source.

2. — En pratique, pour tous les étalonnages, la distance entre la source acoustique et le point de mesure de la pression est suffisamment grande pour que la pression acoustique soit mesurée dans le champ lointain de la source.

3.3 *Centre acoustique*

Point sur ou au voisinage d'un transducteur d'où semblent provenir les ondes sphériques divergentes émises par le transducteur et observables en des points éloignés.

3.4 *Hydrophone*

Transducteur qui produit un signal électrique sous l'effet de signaux acoustiques transmis dans l'eau.

Note. — La plupart des hydrophones sont réciproques et satisfont au principe de réciprocité. Ils peuvent donc fonctionner comme projecteurs, à moins d'être équipés de façon permanente d'un préamplificateur.

CALIBRATION OF HYDROPHONES

1. Scope

This standard specifies methods for the measurement of the sensitivity of hydrophones, particularly in the frequency range from 1 Hz to 1 MHz, and establishes rules for the presentation of the calibration data.

2. Purpose

To establish procedures for the calibration of hydrophones.

3. Definitions

Letter symbols, terminology and scales and sizes of graphic data representation shall be in accordance with IEC Publications 27, Letter Symbols to be Used in Electrical Technology; 50(08), International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 08: Electro-acoustics; 263, Scales and Sizes for Plotting Frequency Characteristics and Polar Diagrams, and ISO Standard 31.

3.1 *Free field*

A sound field in a homogeneous and isotropic medium in which the effects of the boundaries are negligible.

3.2 *Far field*

The sound field at a distance from the sound source where the instantaneous values of sound pressure and particle velocity are substantially in phase.

Notes 1. — In the far field the sound pressure appears to be spherically divergent from a point on or near the radiating surface. Hence the pressure produced by the sound source is inversely proportional to the distance from that source.

2. — For all practical calibrations the separation distance between the sound source and the point where the pressure is measured is sufficiently large that the sound pressure is measured in the far field of the source.

3.3 *Acoustic centre*

The point on or near a transducer from which the spherically divergent sound waves emitted by that transducer and observable at remote points appear to diverge.

3.4 *Hydrophone*

A transducer that produces electric signals in response to waterborne acoustic signals.

Note. — Most hydrophones are reversible and satisfy the principle of reciprocity. Consequently, they may operate as projectors, unless they are permanently equipped with a preamplifier.

3.5 *Projecteur acoustique sous-marin*

Transducteur électroacoustique qui transforme des signaux électriques en signaux sonores se propageant dans l'eau.

Note. — Dans cette norme, un projecteur acoustique sous-marin est désigné simplement par « projecteur ».

3.6 *Transducteur réversible*

Transducteur pouvant fonctionner aussi bien comme projecteur que comme hydrophone.

3.7 *Transducteur réciproque*

Transducteur linéaire, passif, réversible.

3.8 *Tension en circuit ouvert d'un hydrophone*

Tension apparaissant aux bornes électriques d'un hydrophone non chargé électriquement.

Symbole: U_H .

Unité: volt, V.

Notes 1. — Dans cette norme, tous les courants, tensions, pressions acoustiques sont exprimés en valeurs efficaces, sauf indication contraire.

2. — Si une charge électrique est branchée à l'hydrophone, par exemple un câble, un transformateur ou un amplificateur, la tension en circuit ouvert est définie comme la tension apparaissant entre les bornes électriques de l'hydrophone, telle qu'elle est mesurée par la méthode de la tension insérée (voir le paragraphe 6.3.2).

3.9 *Sensibilité en champ libre d'un hydrophone*

Rapport de la tension en circuit ouvert de l'hydrophone, à la pression acoustique dans le champ libre non perturbé qui existerait à l'emplacement du centre acoustique de l'hydrophone si ce dernier était retiré.

Symbole: M_f .

Unité: volt par pascal, V/Pa.

Notes 1. — La pression peut soit être sinusoïdale, soit provenir de bruit filtré en bande étroite, la moyenne géométrique des limites de la bande des fréquences étant considérée comme la fréquence à retenir.

2. — On précisera à la fois la fréquence de mesure et les bornes électriques auxquelles la sensibilité se rapporte.

3. — Le terme de « réponse » est parfois employé à la place de « sensibilité ».

3.9.1 *Niveau de sensibilité en champ libre*

Vingt fois le logarithme à base 10 du rapport de la sensibilité en champ libre M_f à la sensibilité de référence M_{ref} .

Notes 1. — M_{ref} est égal à 1 V/μPa.

Unité: décibel, dB.

2. — Les unités qui diffèrent par un facteur 10 à la puissance de n (n étant un nombre entier positif ou négatif) peuvent être utilisées suivant les règles générales du SI.
On indique, dans ce cas, la valeur de M_{ref} .

3.10 *Sensibilité en pression d'un hydrophone*

Rapport de la tension de sortie à la pression acoustique existant réellement dans la région de l'hydrophone destiné à recueillir les signaux sonores.

Voir les notes 2 et 3 du paragraphe 3.9.

Symbole: M_p .

Unité: volt par pascal, V/Pa.

3.5 Underwater sound projector

An electro-acoustic transducer that converts electric signals into sound signals propagating in water.

Note. — For the purpose of this standard, an underwater sound projector is called a “projector”.

3.6 Reversible transducer

A transducer capable of acting as a projector as well as a hydrophone.

3.7 Reciprocal transducer

A linear, passive, reversible transducer.

3.8 Open-circuit voltage at hydrophone

The voltage appearing at the electrical terminals of a hydrophone when no current passes through the terminals.

Symbol: U_H .

Unit: volt, V.

Notes 1. — Throughout this standard, all voltages, currents and sound pressures are root mean square quantities, unless otherwise stated.

2. — If any electrical load, such as a cable, a transformer or an amplifier, is connected to the hydrophone, the open circuit voltage is defined as the voltage appearing at the electrical terminals of the hydrophone as measured by the “insertion voltage technique” (see Sub-clause 6.3.2).

3.9 Free-field sensitivity of a hydrophone

The ratio of the open circuit voltage of the hydrophone to the sound pressure in the undisturbed free field in the position of the acoustic centre of the hydrophone if the hydrophone were removed.

Symbol: M_f .

Unit: volt per pascal, V/Pa.

Notes 1. — The pressure may be either sinusoidal or narrow band filtered noise, the geometric mean value between the frequency band limits being considered as the given frequency.

2. — The frequency as well as the terminals to which the sensitivity refers shall be specified.

3. — The term “response” is sometimes used instead of “sensitivity”.

3.9.1 Free-field sensitivity level

Twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the free-field sensitivity M_f to a reference sensitivity M_{ref} .

Notes 1. — M_{ref} is equal to 1 V/ μ Pa.

Unit: decibel, dB.

2. — The use of units differing by a factor 10 to the power of n (n being a positive or negative whole number) is allowed in accordance with the general rules for the SI system.

In such cases, the value of M_{ref} is specially indicated.

3.10 Pressure sensitivity of a hydrophone

The ratio of the output voltage to the actual sound pressure existing over the region of the hydrophone designed to receive sound.

See Notes 2 and 3 of Sub-clause 3.9.

Symbol: M_p .

Unit: volt per pascal, V/Pa.

3.10.1 Niveau de sensibilité en pression

Vingt fois le logarithme à base 10 du rapport de la sensibilité en pression M_p à la sensibilité de référence M_{ref} .

Unité: décibel, dB.

3.11 Réponse à l'émission en courant d'un projecteur

Rapport de la pression acoustique à une distance de référence du centre acoustique d'un projecteur dans une direction déterminée et pour une fréquence donnée, multipliée par la distance de référence, au courant traversant les bornes électriques.

La distance de référence est de 1 m.

Symbole: S .

Unité: pascal mètre par ampère, Pa m/A.

3.11.1 Niveau de réponse à l'émission

Vingt fois le logarithme à base 10 de la réponse à l'émission S rapportée à une réponse de référence S_{ref} .

Unité: décibel, dB.

Note. — S_{ref} est égale à 1 μ Pa m/A.

3.12 Bornes électriques d'un transducteur réciproque

Bornes où l'on mesure aussi bien la tension en circuit ouvert en fonctionnement en hydrophone que le courant absorbé en fonctionnement en projecteur.

Note. — Lorsque le transducteur est immergé dans l'eau, on appelle « borne basse » celle dont l'impédance par rapport à l'eau est la plus faible. Par voie de conséquence, l'autre borne est appelée « borne haute » (voir le paragraphe 6.3.2).

3.13 Impédance électrique d'un transducteur

Rapport complexe de la tension instantanée appliquée entre les bornes électriques d'un transducteur au courant instantané résultant, à une fréquence donnée.

Symbole: Z .

Unité: ohm, Ω .

Note. — Puisque cette impédance dépend des conditions d'environnement, de la pression hydrostatique et de la longueur du câble de liaison du transducteur, ces paramètres, ainsi que la fréquence et le repère des bornes de mesure de l'impédance, doivent être précisés.

3.14 Module de l'impédance électrique de transfert d'un couple de transducteurs

Rapport de la tension en circuit ouvert U_H recueillie à la sortie de l'hydrophone au courant I_P traversant le projecteur, à condition que le projecteur et l'hydrophone soient placés en champ libre, leurs axes principaux étant alignés et dirigés l'un vers l'autre.

Symbole: $|Z_{PH}|$.

$$|Z_{PH}| = \frac{U_H}{I_P} \quad (3.1)$$

Unité: ohm, Ω .

Notes 1. — La définition de l'axe principal est donnée au paragraphe 3.20.

2. — Puisque la valeur de cette impédance dépend des conditions d'environnement et des charges électriques du projecteur et de l'hydrophone, ces paramètres, ainsi que le repère des bornes de mesure de la tension et du courant, doivent être précisés.

Si l'hydrophone est placé dans le champ lointain du projecteur, l'impédance de transfert est inversement proportionnelle à la distance d entre les centres acoustiques du projecteur et de l'hydrophone.

$$Z_{PH} d = \text{constante} \quad (3.2)$$

3.10.1 Pressure sensitivity level

Twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the pressure sensitivity M_p to a reference sensitivity M_{ref} .

Unit: decibel, dB.

3.11 Transmitting response to current of a projector

At a given frequency and in a specified direction, the ratio of the sound pressure at a reference distance from the acoustic centre of a projector, multiplied by that reference distance, to the current flowing through the electrical terminals.

Reference distance is 1 m.

Symbol: S .

Unit: pascal metre per ampere, Pa m/A.

3.11.1 Transmitting response level

Twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the transmitting response S to a reference response S_{ref} .

Unit: decibel, dB.

Note. — S_{ref} is equal to 1 $\mu\text{Pa m/A}$.

3.12 Electrical terminals of a reciprocal transducer

Those terminals where the open circuit hydrophone voltage is measured, as well as the projector current.

Note. — If the transducer is immersed in water, the terminal with the lowest impedance with respect to water is called the “low terminal”. Consequently, the other terminal is called the “high terminal” (see Sub-clause 6.3.2).

3.13 Electrical impedance of a transducer

The complex ratio of the instantaneous voltage applied across the electrical terminals of a transducer at a given frequency, to the resulting instantaneous current.

Symbol: Z .

Unit: ohm, Ω .

Note. — Because this impedance depends on the field conditions, the hydrostatic pressure and the length of the cable attached to the transducer, these parameters, as well as the frequency and the terminals where the impedance is measured, shall be specified.

3.14 Electrical transfer impedance magnitude of a transducer pair

The ratio of the open circuit voltage U_H across the hydrophone terminals to the current I_P through the projector, if projector and hydrophone are mounted in a free field with their principal axes in line and directed towards each other.

Symbol: $|Z_{PH}|$.

$$|Z_{PH}| = \frac{U_H}{I_P} \quad (3.1)$$

Unit: ohm, Ω .

Notes 1. — Definition of principal axis is given in Sub-clause 3.20.

2. — Because this impedance magnitude depends on the field conditions and the electrical load conditions of the projector and the hydrophone, these conditions as well as the terminals where the voltage and the current are measured, shall be specified.

If the hydrophone is placed in the far field of the projector, the transfer impedance is inversely proportional to the distance d between the acoustic centres of the projector and the hydrophone:

$$Z_{PH} d = \text{constant} \quad (3.2)$$

3.15 *Pistonphone*

Appareil constitué d'un piston rigide animé d'un mouvement alternatif de fréquence et d'amplitude connues, permettant d'établir une pression acoustique connue dans un récipient fermé de petites dimensions.

Note. — La plus grande dimension du volume clos doit, en principe, être suffisamment faible par rapport à la longueur d'onde du son dans le milieu considéré.

Voir l'article 10 (à l'étude).

3.16 *Colonne vibrante*

Appareillage dans lequel une colonne d'eau contenue dans un cylindre d'axe vertical est mise en vibration, provoquant ainsi dans la colonne d'eau une pression acoustique variable avec la profondeur.

Note. — La longueur de la colonne doit, en principe, être suffisamment faible par rapport à la longueur d'onde du son dans l'eau. Le diamètre de la colonne doit être faible comparé à sa longueur.

Voir l'article 11 (à l'étude).

3.17 *Pression de bruit équivalente*

Pression acoustique qui doit, en principe, être appliquée à l'hydrophone pour que sa tension de sortie soit égale à la tension de bruit mesurée aux mêmes bornes en l'absence de pression acoustique.

Note. — Lorsque la pression de bruit équivalente ne peut être mesurée, elle peut être calculée à partir de la résistance équivalente en série.

Voir la bibliographie, référence [11]*.

3.18 *Dynamique*

Rapport de la pression acoustique maximale en champ libre, qui crée à la sortie de l'hydrophone un signal sans distorsion, à la pression de bruit équivalente de l'hydrophone.

3.19 *Réponse directive*

Description, généralement sous forme de diagrammes, de la réponse d'un transducteur électro-acoustique en fonction de la direction de propagation du son rayonné ou incident dans un plan défini passant par le centre acoustique et à une fréquence donnée (voir l'annexe D).

3.20 *Axe principal*

Direction de référence servant d'origine de coordonnées angulaires pour la description des caractéristiques de directivité du transducteur.

Notes 1. — En général, on choisit l'axe de symétrie structurale ou la direction de réponse maximale comme axe principal.

2. — La direction de réponse maximale peut varier avec la fréquence du son.

3.21 *Directivité isotrope*

Lorsque la réponse d'un transducteur reste comprise entre certaines limites lorsqu'on change de direction, la réponse est appelée « isotrope » dans les limites considérées.

Note. — La directivité isotrope dans un espace à deux dimensions peut se produire dans un seul plan, alors que, dans un espace à trois dimensions, un transducteur peut être omnidirectionnel en tout plan passant par le centre acoustique.

* Les références entre crochets se rapportent à la bibliographie, pages 88-90.

3.15 *Pistonphone*

An apparatus having a rigid piston which can be given a reciprocating motion of a known frequency and amplitude, so permitting the establishment of a known sound pressure in a closed chamber of small dimensions.

Note. — The largest dimension of the enclosed space should be sufficiently small compared with the wavelength of the sound in the acoustic medium.

See Clause 10 (under consideration).

3.16 *Vibrating column*

An instrument in which a column of water in a vertically placed cylindrical container is set in vibration, causing a depth-dependent sound pressure in the water column.

Note. — The length of the column should be sufficiently small compared with the wavelength of the sound in the water. The cross-sectional dimensions of the column must be small compared with its length.

See Clause 11 (under consideration).

3.17 *Equivalent noise pressure*

The sound pressure that must be applied at the hydrophone to cause a voltage at the hydrophone terminals equal to the noise voltage present at the same terminals when the sound pressure is absent.

Note. — When the equivalent noise pressure cannot be measured, it can be calculated from the equivalent series resistance.

See bibliography, reference [11] *.

3.18 *Dynamic range*

The ratio of the maximum free field sound pressure that produces an undistorted hydrophone output to the equivalent noise pressure at the hydrophone.

3.19 *Directional response*

A description, generally presented graphically, of the response of an electro-acoustic transducer, as a function of the direction of propagation of the radiated or incident sound in a specified plane through the acoustic centre and at a specified frequency (see Appendix D).

3.20 *Principal axis*

Reference direction serving as an origin for angular co-ordinates used in describing the directional characteristics of the transducer.

Notes 1. — Generally, the axis of structural symmetry or the direction of maximum response is chosen for the principal axis.

2. — The direction of maximum response may vary with the frequency of the sound.

3.21 *Omnidirectionality*

If the response of a transducer shows variations smaller than a given limit as the direction is changed, the response is called “omnidirectional” within the given limit.

Note. — Omnidirectionality in a two-dimensional space can occur in one plane only, while in three dimensions a transducer can be omnidirectional in all planes through the acoustic centre.

* References in these brackets refer to the bibliography, pages 88-90.

3.22 Familles de transducteurs directifs

Les transducteurs peuvent être classés selon leur directivité.

Un transducteur POINT est isotrope dans toutes les directions et peut avoir son axe dans n'importe quelle direction.

Un transducteur LIGNE est équidirectif dans un plan et peut avoir son axe sur n'importe quelle droite de ce plan.

Un transducteur DOUBLET est bidirectif et a deux axes dans des directions opposées.

Un transducteur PISTON PLAT est unidirectif et a son axe unique généralement perpendiculaire à la surface du piston.

Un transducteur unidirectif est un transducteur qui est surtout sensible à un son dont l'incidence ou l'émission est comprise dans un angle solide inférieur ou égal à une demi-sphère.

Voir [55] à [59].

3.23 Système de coordonnées

Le système de coordonnées lors du tracé de la courbe de directivité, effectué en sens inverse des aiguilles d'une montre (voir la figure 1), sera le suivant:

transducteur ligne: ligne centrale de symétrie sur l'axe OZ;

transducteur doublet: les deux éléments symétriques par rapport au point O, sur l'axe +Z et -Z;

transducteur piston: plan du piston dans le plan ZOY. Axe principal colinéaire à OX.

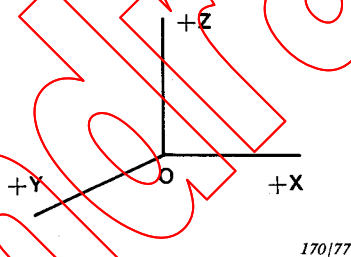


FIG. 1. — Système de coordonnées en sens inverse des aiguilles d'une montre.

Voir [11].

Voir l'annexe D.

4. Procédés d'étalonnage

4.1 Principes

Les procédés d'étalonnage des hydrophones sont spécifiés d'après les principes suivants:

1) Etalonnage sans transducteur étalon

Ce type d'étalonnage englobe les procédés suivants:

a) Etalonnage par réciprocité

Etalonnage fondé sur le principe de réciprocité, dans lequel au moins un transducteur est un transducteur réciproque.

b) Etalonnage par grandeur physique

Etalonnage où la pression acoustique appliquée à l'hydrophone est calculée à partir de la mesure de grandeurs physiques, telles que déplacement, vitesse ou accélération, complaisance de la chambre, etc. (par exemple: transducteur d'équilibre, pistonphone, colonne vibrante, etc.).

3.22 Types of directional transducers

A transducer can be classified according to its directionality:

A POINT transducer is omnidirectional in all planes and may have its axis in any direction.

A LINE transducer is omnidirectional in one plane and may have its axis in any direction within that plane.

A DIPOLE transducer is bidirectional and has two axes in opposite directions.

A FLAT PISTON transducer is unidirectional and has one axis, generally perpendicular to the piston surface.

A unidirectional transducer is a transducer which is responsive predominantly to sound radiated or incident within a solid angle not greater than one hemisphere.

See [55] to [59].

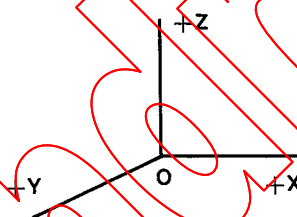
3.23 Co-ordinate system

The directivity pattern shall be plotted in reference to a “left-hand” co-ordinate system (see Figure 1) in the following way:

line transducer: central line of symmetry along the Z-axis;

dipole transducer: both components equidistant from the origin, along the +Z and -Z axis;

piston transducer: piston plane in ZOY-plane; principal axis along X-axis.



170/77

FIG. 1. — “Left-hand” co-ordinate system.

See [11].

See Appendix D.

4. Procedures for calibration

4.1 Principles

Procedures for the calibration of hydrophones are specified by the following principles:

1) Calibration without a standard transducer

This type of calibration covers:

a) Reciprocity calibration

A calibration based upon the reciprocity principle, in which at least one transducer is a reciprocal transducer.

b) Physical calibration

A calibration in which the sound pressure at the hydrophone is calculated from the measurement of physical parameters such as displacement, velocity or acceleration, chamber compliance, etc. (e.g.: null transducer, pistonphone, vibrating column, etc.).

2) *Étalonnage à l'aide d'un transducteur étalon*

En utilisant un hydrophone étalon connu, on peut étalonner par comparaison un hydrophone ou un projecteur. Dans ce dernier cas, le projecteur ainsi étalonné peut servir à l'étalonnage d'un autre hydrophone.

4.2 *Limites de champ*

Selon les limites du champ acoustique, on peut distinguer deux sortes d'étalonnages:

1) *Étalonnage en champ libre*

Les limites du champ acoustique sont telles que l'étalonnage est possible dans les conditions de champ libre (voir le paragraphe 3.1).

2) *Étalonnage en chambre de petites dimensions*

Dans ce cas, le champ acoustique est limité à un petit espace dont la plus grande dimension est suffisamment faible par rapport à une longueur d'onde du son (voir les paragraphes 9.6 et 9.7).

4.3 *Choix schématique des procédés*

L'examen des différents principes et des conditions restrictives dans le champ acoustique, en rapport avec la bande de fréquences, conduit à envisager les différents procédés suivants:

- | | |
|---|-------------------|
| 1) Etalonnage en champ libre par réciprocité | article 7 |
| — étalonnage sans transducteur étalon en champ libre, entre 1 kHz et 1 MHz. | |
| 2) Etalonnage en champ libre par comparaison | article 8 |
| — étalonnage avec un transducteur étalon en champ libre, entre 100 Hz et 1 MHz. | |
| 3) Compensation dans une chambre fermée | article 9 |
| — étalonnage par grandeur physique, sans transducteur étalon, dans une chambre fermée, entre 0,1 Hz et 5 kHz. | |
| 4) Etalonnage avec un pistonphone ou une colonne vibrante | articles 10 et 11 |
| — étalonnage par grandeur physique, sans transducteur étalon, dans une petite chambre, entre 1 Hz et 3 kHz. | (à l'étude) |

5. **Préparation des transducteurs**

Avant d'effectuer l'étalonnage proprement dit, il est nécessaire de procéder à une préparation très soignée des transducteurs selon les indications des paragraphes suivants:

5.1 *Mouillage*

Afin de s'assurer que le transducteur est correctement mouillé par l'eau, sans qu'apparaisse un film d'air ou des bulles à sa surface, il convient d'appliquer un produit mouillant sur la surface entière du transducteur. Après immersion, on ne doit remarquer aucune partie sèche quand on ressort le transducteur de l'eau.

5.2 *Support de l'hydrophone*

Le support de l'hydrophone ne doit en aucune manière influencer sur sa sensibilité et ne doit pas non plus permettre de recueillir du bruit.

Une suspension réalisée avec des fils fins ou avec des amortisseurs en caoutchouc souple peut permettre un maintien correct.

2) *Calibration with a standard transducer*

A hydrophone or a projector can be calibrated by comparison with a calibrated standard hydrophone. In the latter case, the calibrated projector can be used to calibrate another hydrophone.

4.2 *Field limitations*

According to the limitations of the sound field, two types of calibration can be distinguished:

1) *Free field calibration*

The boundaries of the sound field are such that calibration is possible in free field conditions (see Sub-clause 3.1).

2) *Small chamber calibration*

In this case, the sound field is restricted within a small space of which the largest dimension is sufficiently less than one wavelength of the sound (see Sub-clauses 9.6 and 9.7).

4.3 *Schematic survey of procedures*

Considerations of the different principles and of the limitations in the sound field and in the frequency range lead to the following different procedures:

1) Free field reciprocity calibration

— calibration without a standard transducer in a free field, between 1 kHz and 1 MHz.

Clause 7

2) Free field calibration by comparison

— calibration with a standard transducer in a free field, between 100 Hz and 1 MHz.

Clause 8

3) Compensation in a closed chamber

— physical calibration without a standard transducer in a closed chamber, between 0.1 Hz and 5 kHz.

Clause 9

4) Calibration with a pistonphone or a vibrating column

— physical calibration without a standard transducer in a small chamber, between 1 Hz and 3 kHz.

Clauses 10 and 11
(under consideration)

5. **Preparation of the transducers**

Prior to the actual calibration procedure, careful preparation of the transducers is necessary, as outlined in the following sub-clauses:

5.1 *Wetting*

To make sure that the transducer is wetted properly by the water, without trapping an air film or bubbles on its surface, a wetting agent should be applied to the whole transducer surface. No dry patches should be visible on the transducer when it is immersed and then removed from the water.

5.2 *Hydrophone support*

The hydrophone should be supported in such a way that the sensitivity cannot be affected and structure borne noise cannot be picked up.

Suspension on thin wires or resilient mounting with rubber springs may offer a good way of support.

5.3 Influence du câble

Si, pour les besoins de l'étalonnage, le câble de liaison de l'hydrophone doit être rallongé, on mesure séparément la capacité de la partie rajoutée afin de calculer l'affaiblissement du signal qu'elle apporte.

Il faut éviter des longueurs de câble dépassant un dixième de la longueur d'onde à la fréquence la plus haute.

6. Mesures électriques

6.1 Forme du signal

Le signal utilisé lors de l'étalonnage peut être sinusoïdal ou provenir de bruit filtré. Dans le cas d'un signal sinusoïdal, les fréquences ne doivent pas être espacées de plus de un tiers d'octave. Selon la Norme ISO 266, les fréquences suivantes sont préconisées.

1,0 Hz; 1,25 Hz; 1,6 Hz; 2,0 Hz; 2,5 Hz; 3,15 Hz; 4,0 Hz; 5,0 Hz;
6,3 Hz; 8,0 Hz et 10,0 Hz et leurs multiples décimaux.

Cependant, au voisinage de la résonance, les intervalles doivent être réduits.

Le bruit filtré doit provenir d'un générateur de bruit « rose ». Le bruit rose est défini comme ayant une densité spectrale de puissance inversement proportionnelle à la fréquence. Par suite, la puissance dans une bande (f_1, f_2) est proportionnelle à $\ln(f_2/f_1)$.

6.2 Mise à la masse

Afin d'éviter les boucles de masse, les bornes électriques des transducteurs ne doivent pas être en contact avec l'eau. Les parties métalliques extérieures d'un hydrophone ne doivent servir de connexion de masse que pour l'écran du câble de l'hydrophone et pour le boîtier de l'amplificateur, à l'exception de tous les autres contacts de masse.

6.3 Mesure de la tension de sortie de l'hydrophone

6.3.1 Mesure directe

La tension en circuit ouvert de l'hydrophone peut être mesurée directement à l'aide d'un voltmètre étalonné, dont l'impédance d'entrée est égale à au moins 100 fois l'impédance électrique de sortie de l'hydrophone. Ce voltmètre doit être étalonné avec une précision supérieure à 1%.

6.3.2 Méthode de la tension insérée

La méthode de la tension insérée est utilisée pour mesurer la tension en circuit ouvert d'un hydrophone chargé électriquement ou lorsque le gain de la chaîne amplificatrice n'est pas connu avec précision (voir la figure 2, page 26).

Une faible résistance R_i , comprise entre 1 Ω et 100 Ω , est connectée en série à la borne basse de l'hydrophone, et une tension d'étalonnage connue lui est appliquée. On applique alternativement une pression acoustique et une tension d'étalonnage de même fréquence. Lorsque la tension

5.3 *Influence of the cable*

If the cable to the hydrophone must be lengthened for the purpose of the calibration, the capacitance of the extension cable is measured separately, in order to calculate the signal attenuation due to the extension.

Cable lengths exceeding 0.1 wavelength at the highest frequency should be avoided.

6. **Electrical measurements**

6.1 *Signal type*

The signal used for the calibration may be either sinusoidal or filtered noise. The frequencies for sine wave signals are to be chosen with intervals not larger than one-third octave. According to ISO Standard 266, the following frequencies are recommended:

1.0 Hz; 1.25 Hz; 1.6 Hz; 2.0 Hz; 2.5 Hz; 3.15 Hz; 4.0 Hz; 5.0 Hz;
6.3 Hz; 8.0 Hz and 10.0 Hz and 10-fold multiples of this series.

However, if resonance occurs, closer spaced frequency points have to be chosen.

Filtered noise will be taken from a noise generator producing pink noise. Pink noise is defined as having a power spectral density inversely proportional to frequency. Therefore, the power in a band (f_1, f_2) is proportional to $\ln(f_2/f_1)$.

6.2 *Earthing*

In order to avoid earth loops, the electrical terminals of the transducers should be kept free from contact with the water. Exposed metal parts of one hydrophone shall be the only earth connection for the cable screen of the hydrophone and for the hydrophone amplifier. All other earth contacts shall be excluded.

6.3 *Measurement of hydrophone output voltage*

6.3.1 *Direct measurement*

The open circuit voltage of the hydrophone can be measured directly with the aid of a calibrated voltmeter, having an input impedance at least 100 times the electrical impedance at the hydrophone terminals. The voltmeter shall be calibrated with an accuracy better than 1%.

6.3.2 *Insert voltage technique*

The insert voltage technique is used to determine the open circuit voltage of a hydrophone when it is electrically loaded or when the gain of the amplifier chain is uncertain (see Figure 2, page 27).

A small resistor R_i , usually in the range of 1 Ω to 100 Ω , is connected in series with the low terminal of the hydrophone, and a known calibration voltage is applied across it. Let a sound pressure and a calibration voltage of the same frequency be applied alternately. When the

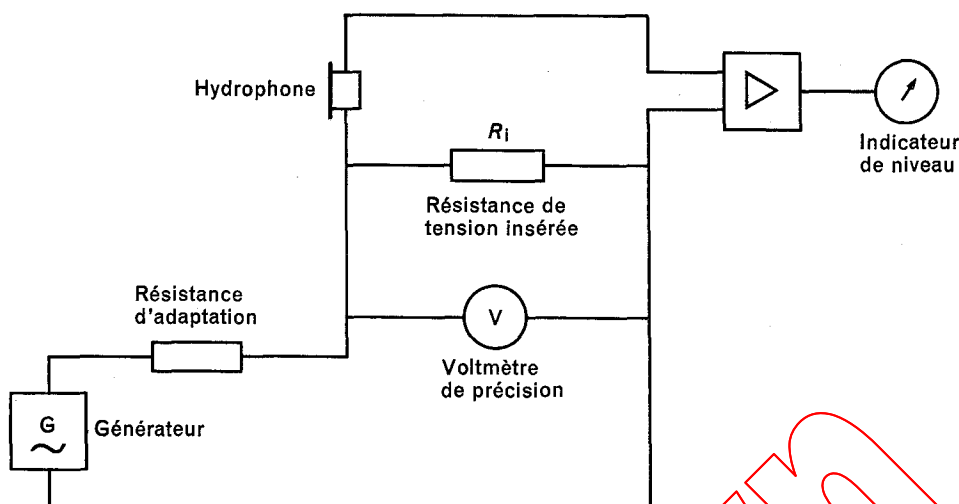


FIG. 2. — Technique de tension insérée.

d'étalonnage est ajustée de façon à donner le même niveau que celui qui est provoqué par la pression acoustique, la valeur de la tension en circuit ouvert est égale à celle de la tension d'étalonnage.

La précision du voltmètre doit être supérieure à 1%.

Notes 1. — Si l'hydrophone comprend un préamplificateur incorporé, relié par un long câble aux instruments de mesure, il est préférable de ne pas mesurer la tension insérée directement, mais de déterminer le courant circulant dans la résistance R_i . Dans ce cas, la précision de R_i doit être supérieure à 1%.

Se référer à la Publication 500 de la CEI, Hydrophone étalon CEI.

2. — L'impédance due aux capacités des fils de liaison entre eux et à leurs capacités par rapport à la masse doit être supérieure à $100 R_i$.
3. — La méthode de la tension insérée permet en outre de mesurer le gain du préamplificateur.
4. — La résistance d'adaptation de la figure 2 sert à adapter la résistance relativement faible R_i à la résistance de charge plus élevée du générateur très souvent nécessaire.

6.3.3 Bruit

Le niveau de bruit ou d'autres parasites, tels que diaphonie, d'origine électrique ou acoustique, devra être au moins inférieur de 20 dB au signal. Dans le cas d'un signal continu, la diaphonie devra être au moins inférieure de 40 dB au signal utile.

Voir [10], [31] et [32].

Note. — Le niveau de bruit parasite peut être réduit par l'emploi d'un filtre passe-bande suffisamment large pour laisser passer le signal sans distorsion.

6.4 Mesure du courant traversant le projecteur

6.4.1 Mesure directe

Le courant traversant le projecteur peut être mesuré directement en insérant un ampèremètre étalonné en série avec la borne basse du projecteur.

Cet ampèremètre doit être étalonné avec une précision meilleure que 1%. S'il est inséré en série avec la borne haute du projecteur, il faut s'efforcer d'éviter les impédances parasites par rapport à la masse, qui sont alors en parallèle avec l'impédance du projecteur.

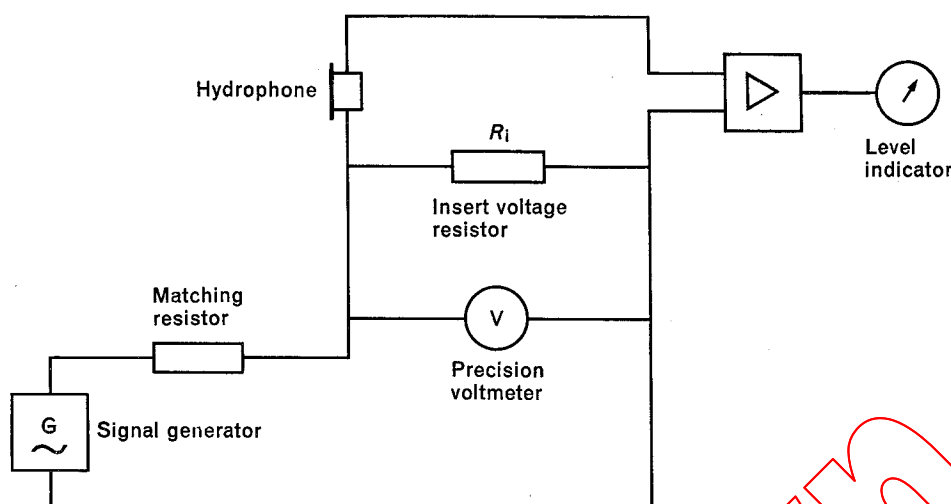


FIG. 2. — Insert voltage technique.

calibration voltage is adjusted until it gives the same level reading as that which results from the sound pressure on the hydrophone, the open circuit voltage will be equal in magnitude to the calibrating voltage.

The accuracy of the voltmeter shall be better than 1%.

Notes 1. — If the hydrophone is equipped with a built-in preamplifier, connected by a long cable to a measuring station, it is a matter of convenience not to measure the insert voltage directly, but to measure the current flowing through R_i . In that case, the accuracy of R_i shall be better than 1%.

Reference is made to IEC Publication 500, IEC Standard Hydrophone.

2. — The impedance due to the capacitance between the cable leads, combined with the capacitance of each cable lead to ground, must be higher than $100 R_i$.
3. — The insert voltage technique also enables the pre-amplifier gain to be measured.
4. — The matching resistor in Figure 2 serves to match the relatively low resistance of R_i to the usually required higher load resistance of the signal generator.

6.3.3 Noise

The level of the noise or other interference such as crosstalk, whether of acoustical or electrical origin, shall be at least 20 dB lower than the signal level. In the case of a continuous signal the crosstalk level shall be at least 40 dB lower than the signal level.

See [10], [31] and [32].

Note. — The level of the interfering noise can be reduced by the use of a band-pass filter of a bandwidth sufficiently wide to let the signal pass without distortion.

6.4 Measurement of projector current

6.4.1 Direct measurement

The projector current can be measured directly by means of a calibrated current meter, connected in series with the low terminal of the projector.

This current meter shall be calibrated with an accuracy of better than 1%. If the current meter is inserted in series with the high terminal of the projector, care must be taken to avoid stray impedance to earth that shunts the impedance of the projector.