NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60565

Deuxième édition
Second edition
2006-11

Acoustique sous-marine – Hydrophones – Étalonnage dans la bande de fréquences de 0,01 Hz à 1 MHz

Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz

© IEC 2006 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XC

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 8

1 Domaine d'application 12
2 Références normatives 12
3 Termes et définitions 12
4 Symboles et termes abrégés 24
5 Procédures d'étalonnage 28
5.1 Principes 28
5.2 Limites de champ 30
5.3 Choix schématique des procédés 30
5.4 Compte-rendu des résultats 30
5.5 Périodes de réétalonnage 32
5.6 Considérations relatives à la température et à la pression pour l'étalonnage 32
6 Préparation des transducteurs 32
6.1 Mouillage 32
6.2 Support de l'hydrophone 32
6.3 Influence du câble 32
7 Mesures électriques 34
7.1 Forme du signal 34
7.2 Mise à la terre 34
7.3 Mesure de la tension de sortie de l'hydrophone 34
7.4 Mesure du courant traversant le projecteur 36
7.5 Mesure de l'impédance de transfert 38
8 Etalonnage en champ libre par réciprocité 38
8.1 Principe général 38
8.2 Théorie 40
8.3 Distance de séparation 50
8.4 Distance minimale entre transducteurs et surfaces délimitantes 50
8.5 Limites en fréquence 50
8.6 Mesures et vérifications 52
8.7 Incertitude 58
9 Etalonnage en champ libre par comparaison 58
9.1 Principe 58
9.2 Comparaison avec un hydrophone étalon 58
9.3 Etalonnage avec un projecteur étalonné 60
10 Etalonnage par excitation hydrostatique 62
10.1 Principe 62
10.2 Détermination de la pression équivalente 62
10.3 Mesure de la sensibilité des hydrophones 70
10.4 Conception du système de vibration 72
10.5 Incertitude 74
10.6 Méthode alternative pour l'excitation hydrostatique 74
11 Etalonnage par compensation piézo-électrique 74
11.1 Principe 74
11.2 Procédure 76

CONTENTS

FOREWORD 9

1 Scope 13
2 Normative references 13
3 Terms and definitions 13
4 Symbols and abbreviated terms 25
5 Procedures for calibrations 29
5.1 Principles 29
5.2 Field limitations 31
5.3 Schematic survey of procedures 31
5.4 Reporting of results 31
5.5 Recalibration periods 33
5.6 Temperature and pressure considerations for calibration 33
6 Preparation of transducers 33
6.1 Wetting 33
6.2 Hydrophone support 33
6.3 Influence of cable 33
7 Electrical measurements 35
7.1 Signal type 35
7.2 Earthing 35
7.3 Measurement of hydrophone output voltage 35
7.4 Measurement of projector current 37
7.5 Measurement of transfer impedance 39
8 Free-field reciprocity calibration 39
8.1 General principle 39
8.2 Theory 41
8.3 Separation distance 51
8.4 Minimum distance from transducers to boundary surface 51
8.5 Frequency limitation 51
8.6 Measurements and checks 53
8.7 Uncertainty 59
9 Free-field calibration by comparison 59
9.1 Principle 59
9.2 Comparison with a standard hydrophone 59
9.3 Calibration with a calibrated projector 61
10 Calibration by hydrostatic excitation 63
10.1 Principle 63
10.2 Determination of equivalent pressure 63
10.3 Measurement of the sensitivity of hydrophones 71
10.4 Design of vibration system 73
10.5 Uncertainty 75
10.6 Alternative method for hydrostatic excitation 75
11 Calibration by piezoelectric compensation 75
11.1 Principle 75
11.2 Procedure 77

11.3 Conception de la chambre d'étalonnage 80
11.4 Limites pratiques de la méthode de compensation piézo-électrique 84
11.5 Incertitude 84
12 Etalonnage par réciprocité du coupleur acoustique 84
12.1 Principe 84
12.2 Procédure 84
12.3 Théorie 86
12.4 Elasticité acoustique 88
12.5 Limite de haute fréquence 88
12.6 Limite de basse fréquence 88
12.7 Mesure 88
12.8 Incertitude 90
12.9 Limites 90
12.10 Etalonnage du coupleur acoustique à l'aide d'un coupleur de référence avec deux transducteurs réciproques et un coupleur auxiliaire avec les deux mêmes transducteurs et un hydrophone à étalonner 90
12.11 Etalonnage du coupleur acoustique à l'aide d'un coupleur de référence avec deux transducteurs réciproques et un coupleur auxiliaire avec les deux mêmes transducteurs, un hydrophone à étalonner et une source sonore 94
12.12 Etalonnage du coupleur acoustique à l'aide d'un coupleur, d'un transducteur réciproque, d'un projecteur, d'un hydrophone à étalonner, et d'un organe subsidiaire d'élasticité connue 98
13 Etalonnage avec un pistonphone 102
13.1 Principe 102
13.2 Procédure 102
13.3 Limites 108
13.4 Incertitude 110
14 Etalonnage avec une colonne vibrante 110
14.1 Principe 110
14.2 Procédure 112
14.3 Expression pour la pression 114
14.4 Détermination de la sensibilité 114
14.5 Conditions de mesure 118
14.6 Incertitude 120

Annexe A (informative) Réponse directionnelle d'un hydrophone 122
Annexe B (informative) Corrections de la charge électrique 126
Annexe C (informative) Techniques par impulsions dans les étalonnages en champ libre 130
Annexe D (informative) Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage des hydrophones 148
Annexe E (informative) Circuit équivalent du système d'excitation pour l'étalonnage avec une colonne vibrante 156

Bibliographie 158

11.3 Design of the calibration chamber 81
11.4 Practical limitations of the piezoelectric compensation method 85
11.5 Uncertainty 85
12 Acoustic coupler reciprocity calibration 85
12.1 Principle 85
12.2 Procedure 85
12.3 Theory 87
12.4 Acoustic compliance 89
12.5 High-frequency limit 89
12.6 Low-frequency limit 89
12.7 Measurement 89
12.8 Uncertainty 91
12.9 Limitations 91
12.10 Acoustic-coupler calibration using a reference coupler with two reciprocal transducers and an auxiliary coupler with the same two transducers and a hydrophone to be calibrated 91
12.11 Acoustic-coupler calibration using a reference coupler with two reciprocal transducers and an auxiliary coupler with the same two transducers, a hydrophone to be calibrated, and a sound source 95
12.12 Acoustic-coupler calibration using a coupler, a reciprocal transducer, a projector, a hydrophone to be calibrated, and a subsidiary body of known compliance 99
13 Calibration with a pistonphone 103
13.1 Principle 103
13.2 Procedure 103
13.3 Limitations 109
13.4 Uncertainty 111
14 Calibration with a vibrating column 111
14.1 Principle 111
14.2 Procedure 113
14.3 Expression for the pressure 115
14.4 Determination of the sensitivity 115
14.5 Conditions of measurement 119
14.6 Uncertainty 121

Annex A (informative) Directional response of a hydrophone 123
Annex B (informative) Electrical loading corrections 127
Annex C (informative) Pulsed techniques in free-field calibrations 131
Annex D (informative) Assessment of uncertainty in the calibration of hydrophones 149
Annex E (informative) Equivalent circuit of the excitation system for calibration with a vibrating column 157

Bibliography 159

Figure 1 – Système de coordonnées dans le sens des aiguilles d'une montre 14
Figure 2 – Cadre de mesure pour soutenir les trois transducteurs en ligne: un projecteur P, un transducteur réciproque T, et un hydrophone H à étalonner. 48
Figure 3 – Schéma de la méthode de l'excitation hydrostatique 64
Figure 4 – Schéma du système de mesure 76
Figure 5 – Schéma de la chambre pour hautes fréquences 82
Figure 6 – Coupleur de réciprocité avec trois transducteurs; un projecteur P, un transducteur réciproque T, et un hydrophone H à étalonner. 86
Figure 7 – Coupleur de référence avec deux transducteurs: un projecteur P et un transducteur réciproque T 92
Figure 8 – Coupleur auxiliaire avec trois transducteurs: un projecteur P, un transducteur réciproque T, et un hydrophone H à étalonner 92
Figure 9 – Coupleur auxiliaire avec quatre transducteurs; un projecteur P, un transducteur réciproque T, une source sonore S, et un hydrophone H à étalonner 96
Figure 10 – Schéma du système de mesure 102
Figure 11 – Pistonphone 110
Figure 12 – Colonne vibrante 112
Figure C.1 – Schéma d'un projecteur et d'un récepteur dans une cuve remplie d'eau présentant les sources principales de réflexions 134
Figure C.2 – Instant d'arrivée de l'écho dans une cuve de 6 m × 6 m × 5 m avec des transducteurs placés de façon optimale 136
Figure C.3 – Signaux d'hydrophones pour un couple de transducteurs sphériques [projecteur: fréquence de résonance de 18 kHz, facteur *Q* de 3,5; hydrophone: fréquence de résonance de 350 kHz; fréquence de fonctionnement: 2 kHz (gauche) et 18 kHz (droite)] 138
Figure E.1 – Circuit équivalent simplifié de la colonne vibrante 156

Figure 1 – Left-hand co-ordinate system 15
Figure 2 – Measurement framework for supporting in-line the three transducers: a projector P, a reciprocal transducer T, and a hydrophone H to be calibrated. 49
Figure 3 – Diagram of the method of hydrostatic excitation. 65
Figure 4 – Schematic drawing of the measuring system 77
Figure 5 – Diagram of the chamber for high-frequency 83
Figure 6 – Reciprocity coupler with three transducers; a projector P, a reciprocal transducer T, and a hydrophone H to be calibrated. 87
Figure 7 – Reference coupler with two transducers: a projector P and a reciprocal transducer T 93
Figure 8 – Auxiliary coupler with three transducers: a projector P, a reciprocal transducer T, and a hydrophone H to be calibrated 93
Figure 9 – Auxiliary coupler with four transducers; a projector P, a reciprocal transducer T, a sound source S, and a hydrophone H to be calibrated 97
Figure 10 – Schematic drawing of the measuring system. 103
Figure 11 – Pistonphone 111
Figure 12 – Vibrating column 113
Figure C.1 – Schematic diagram of a projector and receiver in a water tank showing the main sources of reflections 135
Figure C.2 – Echo arrival time in a 6 m $\times$ 6 m $\times$ 5 m tank with optimally placed transducers 137
Figure C.3 – Hydrophone signals for a pair of spherical transducers [projector: 18 kHz resonance frequency, Q factor of 3,5; hydrophone: 350 kHz resonance frequency; drive frequency: 2 kHz (left) and 18 kHz (right)] 139
Figure E.1 – Simplified equivalent circuit of the vibrating column 157

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ACOUSTIQUE SOUS-MARINE – HYDROPHONES – ETALONNAGE DANS LA BANDE DE FRÉQUENCES DE 0,01 Hz À 1 MHz

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60565 a été établie par le comité d'études 87 de la CEI: Ultrasons.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1977 et son premier complément CEI 60565A (1980). Cette édition constitue une révision technique. Les modifications techniques significatives par rapport à l'édition antérieure sont les suivantes:

– Mise à jour des procédures prenant en compte l'utilisation des techniques numériques d'acquisition et de traitement des signaux, par opposition aux techniques analogiques décrites dans la première édition;
– inclusion d'une information plus détaillée relative à la préparation des hydrophones pour la mesure, et des influences des conditions environnementales sur l'étalonnage de l'hydrophone;
– révision des procédures d'étalonnage de la réponse de l'hydrophone par réciprocité;
– inclusion des procédures d'étalonnage de phase dans la méthode par réciprocité;

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

UNDERWATER ACOUSTICS – HYDROPHONES – CALIBRATION IN THE FREQUENCY RANGE 0,01 Hz TO 1 MHz

FOREWORD

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

International Standard IEC 60565 has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1977 and its first supplement IEC 60565A (1980). This edition constitutes a technical revision. The significant technical changes with respect to the previous edition are as follows:

– updating of procedures to reflect the use of digital acquisition and signal processing techniques as opposed to the analogue techniques described in the first edition;
– inclusion of more detailed information regarding the preparation of hydrophones for measurement, and the influences of environmental conditions on hydrophone calibration;
– revision of procedures for magnitude calibration of hydrophone response by the method of three-transducer spherical-wave reciprocity;
– inclusion of procedures for phase calibration into the method of three-transducer spherical-wave reciprocity;

– révision des procédures d'étalonnage des hydrophones par comparaison;
– inclusion des procédures d'étalonnage des hydrophone à basse fréquence par la méthode d'excitation hydrostatique;
– révision des procédures d'étalonnage des hydrophone à basse fréquence par compensation piézo-électrique;
– révision des procédures d'étalonnage des hydrophone à basse fréquence par réciprocité;
– révision des procédures d'étalonnage des hydrophone à basse fréquence avec un pistonphone;
– révision des procédures d'étalonnage des hydrophone à basse fréquence avec une colonne vibrante;
– suppression de l'Annexe A de la première édition (mesure du module de l'impédance de transfert par la méthode de substitution) étant donné que cette méthode n'est plus utilisée;
– suppression de l'Annexe B de la première édition (mesure du module de l'impédance de transfert par la méthode de lecture directe) étant donné que cette méthode n'est plus utilisée;
– maintien de l'Annexe C de la première édition, mais mise à jour de façon substantielle;
– maintien de l'Annexe D de la première édition qui devient l'Annexe A de la présente édition;
– ajout d'une nouvelle Annexe B comportant une description de la manière de prendre en compte l'influence de la charge électrique;
– ajout d'une nouvelle Annexe D sur l'évaluation de l'incertitude dans l'étalonnage des hydrophones;
– ajout d'une nouvelle Annexe E sur un circuit équivalent du système d'excitation pour l'étalonnage avec une colonne vibrante.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
87/357/FDIS	87/360/RVD

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

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

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

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

– revision of procedures for calibration of hydrophones by the comparison methods;
– inclusion of procedures for low frequency hydrophone calibration utilising the method of hydrostatic excitation;
– revision of the procedures for low frequency hydrophone calibration utilising the method of piezoelectric compensation;
– inclusion of procedures for low frequency hydrophone calibration utilising the method of coupler reciprocity;
– revision of the procedures for low frequency hydrophone calibration utilising the pistonphone method;
– revision of procedures for low frequency hydrophone calibration utilising the method of vibrating column (previously issued as a supplement to the standard);
– deletion of Appendix A of first edition (transfer impedance by substitution method) since method no longer used;
– deletion of Appendix B of first edition (transfer impedance by direct read-out method) since method no longer used;
– retention of Appendix C of first edition, but now substantially updated and included as Annex C (informative);
– retention of Appendix D of first edition, now included as Annex A (informative);
– addition of new Annex B describing methods for accounting for electrical loading of hydrophones by pre-amplifiers;
– addition of new Annex D describing the assessment of uncertainty in free-field hydrophone calibrations;
– addition of new Annex E describing an equivalent electrical circuit of the excitation system for calibration with a vibrating column.

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

FDIS	Report on voting
87/357/FDIS	87/360/RVD

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

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

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

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

ACOUSTIQUE SOUS-MARINE – HYDROPHONES – ETALONNAGE DANS LA BANDE DE FRÉQUENCES DE 0,01 Hz À 1 MHz

1 Domaine d'application

La présente Norme Internationale spécifie des méthodes pour l'étalonnage des hydrophones ou des transducteurs réversibles utilisés comme des hydrophones, en particulier dans la bande de fréquences de 0,01 Hz à 1 MHz. Les règles de présentation des résultats d'étalonnage sont établies.

2 Références normatives

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

CEI 60050-801, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 801: Acoustique et électroacoustique*

CEI 60500:1974, *Hydrophone étalon CEI*

CEI 60866:1987, *Caractéristiques et étalonnage des hydrophones pour fonctionnement dans la gamme de 0,5 MHz à 15 MHz*

UNDERWATER ACOUSTICS – HYDROPHONES – CALIBRATION IN THE FREQUENCY RANGE 0,01 Hz TO 1 MHz

1 Scope

This International Standard specifies methods for calibration of hydrophones or reversible transducers when used as a hydrophone, particularly in the frequency range from 0,01 Hz to 1 MHz. Rules for the presentation of the calibration data are established.

2 Normative references

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

IEC 60050-801, *International Electrotechnical Vocabulary - Chapter 801: Acoustics and electroacoustics*

IEC 60500:1974, *IEC Standard hydrophone*

IEC 60866:1987, *Characteristics and calibration of hydrophones for operation in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz*