

**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 × 6 m × 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 – ÉTALONNAGE 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 réciprocity;
- inclusion des procédures d'étalonnage de phase dans la méthode par réciprocity;

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 – ÉTALONNAGE 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*