

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61101

Première édition
First edition
1991-11

**L'étalonnage absolu des hydrophones
par la technique du balayage planaire
dans la gamme de fréquences
de 0,5 MHz à 15 MHz**

**The absolute calibration of hydrophones
using the planar scanning technique
in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61101: 1991

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} 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**

61101

Première édition
First edition
1991-11

**L'étalonnage absolu des hydrophones
par la technique du balayage planaire
dans la gamme de fréquences
de 0,5 MHz à 15 MHz**

**The absolute calibration of hydrophones
using the planar scanning technique
in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz**

© IEC 1991 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

T

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	8
4 Liste des symboles	12
5 Détermination de la sensibilité de l'hydrophone	14
6 Procédure de mesurage	20
6.1 Mesurage de puissance	20
6.2 Fixation du transducteur	20
6.3 Conditions de mesurage	20
6.4 Mesurages	22
7 Corrections et sources d'incertitude	22
7.1 Puissance totale	22
7.2 Signal de l'hydrophone	24
7.3 Intégration	24
7.4 Réponse directionnelle	26
7.5 Dimensions finies de l'hydrophone	26
7.6 Bruit	26
7.7 Propagation non linéaire	28
7.8 Balayage planaire	30
7.9 Proportionnalité de l'intensité au carré de la pression	30
ANNEXES	
A (informative)	34
B (informative)	38
C (informative)	42
Bibliographie	46

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
4 List of symbols	13
5 Determination of hydrophone sensitivity	15
6 Measurement procedure	21
6.1 Power measurement	21
6.2 Transducer mounting	21
6.3 Measurement conditions	21
6.4 Measurements	23
7 Corrections and sources of uncertainty	23
7.1 Total power	23
7.2 Received hydrophone signal	25
7.3 Integration	25
7.4 Directional response	27
7.5 Finite size of the hydrophone	27
7.6 Noise	27
7.7 Nonlinear propagation	29
7.8 Planar scanning	31
7.9 Intensity proportional to pressure squared	31
ANNEXES	
A (informative)	35
B (informative)	39
C (informative)	43
Bibliography	46

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**L'ÉTALONNAGE ABSOLU DES HYDROPHONES PAR
LA TECHNIQUE DU BALAYAGE PLANAIRE
DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES DE 0,5 MHz À 15 MHz**

AVANT-PROPOS

- 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.

Cette Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 87 de la CEI: Ultrasons.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
87(BC)4	87(BC)7

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

Toutes les annexes sont données à titre informatif.

NOTE - Les caractères d'imprimerie suivants sont employés:

- Prescriptions: caractères romains
- *Modalités d'essai: caractères italiques*
- Notes: petits caractères romains
- Les termes figurant en caractères gras dans le texte sont définis à l'article 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THE ABSOLUTE CALIBRATION OF HYDROPHONES
USING THE PLANAR SCANNING TECHNIQUE
IN THE FREQUENCY RANGE 0,5 MHz TO 15 MHz**

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.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 87: Ultrasonics.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
87(CO)4	87(CO)7

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

All annexes are informative.

NOTE - The following print types are used:

- Requirements: in roman type
- *Test specifications: in italic type*
- Notes: in small roman type
- Words in bold in the text are defined in clause 3.

INTRODUCTION

Les répartitions spatiales et temporelles de la pression acoustique dans un champ ultrasonore sont généralement déterminées à l'aide d'hydrophones piézoélectriques miniatures (voir CEI 1102). Ces hydrophones ne sont pas des instruments absolus et doivent donc être étalonnés pour la relation de la tension fournie à la pression dans le champ ultrasonore. On fait appel couramment à deux techniques. L'une d'elles, la réciprocité à deux transducteurs (voir [1]) est décrite dans la CEI 866; l'autre, dénommée en général «balayage planaire» ([2] et [3]), fait l'objet de la présente Norme internationale. Le balayage planaire fait appel à un hydrophone qui décrit le faisceau d'un transducteur dont on connaît la puissance émise. La précision de cette méthode peut être comparable à celle de la réciprocité (voir CEI 866, [4] et [5]).

Le balayage planaire permet l'étalonnage d'un hydrophone à l'aide d'un transducteur de puissance de sortie connue, soit parce qu'il s'agit d'un dispositif standard reproductible, soit parce qu'il a été lui-même étalonné, par exemple grâce à une balance de pression de radiation (voir CEI 1103 et [3]-[7]). Bien que le concept du balayage planaire puisse être appliqué à toute fréquence, les techniques faisant plus particulièrement l'objet de la présente Norme internationale sont surtout utilisables dans la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz.

Withdrawn

INTRODUCTION

The spatial and temporal distribution of acoustic pressure within an ultrasonic field is commonly determined by using miniature piezoelectric hydrophones (see IEC 1102). These hydrophones are not absolute devices and the relation between the acoustic pressure in the ultrasonic field and the voltage produced by the hydrophone must be determined by calibration. Two techniques for hydrophone calibration are in common use. One of these, two-transducer reciprocity (see [1]), is described in IEC 866, and the other technique, commonly referred to as planar scanning ([2] and [3]), is described in this International Standard. Planar scanning involves the use of a hydrophone to determine the beam profile of a transducer of known output power. The accuracy of the technique can be comparable with that of reciprocity (see IEC 866, [4] and [5]).

Planar scanning provides a technique for the calibration of a hydrophone by means of a transducer of known output power. The transducer may be a standard device of known and reproducible output power, or it may be calibrated using, for example, a radiation pressure balance (see IEC 1103 and [3]-[7]). Whilst the concept of the technique of planar scanning can be applied at any frequency, the particular techniques described in this International Standard are most applicable to the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz.

Withdrawn

L'ÉTALONNAGE ABSOLU DES HYDROPHONES PAR LA TECHNIQUE DU BALAYAGE PLANAIRE DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES DE 0,5 MHz À 15 MHz

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale établit une méthode d'étalonnage pour les hydrophones; cette méthode est basée sur le balayage planaire et vaut pour la gamme de fréquences allant de 0,5 MHz à 15 MHz.

NOTES

1 Les titres des autres publications dont il est fait mention dans cette norme sont inventoriés en page 46.

2 Les unités SI sont utilisées tout au long de cette norme. Il peut être plus commode d'utiliser d'autres unités dans la spécification de certains paramètres tels que les intensités instantanées, lesquelles pourraient être données en W/cm^2 ou mW/cm^2 .

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, du fait de la référence qui est faite aux dites normes dans le présent texte, deviennent des dispositions de la présente Norme internationale. Les éditions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication du présent texte. Toute norme faisant l'objet de révision, les parties prenantes aux agréments basés sur cette Norme internationale sont invitées à envisager la possibilité d'application des éditions les plus récentes des normes citées ci-dessous. Les membres de l'ISO et de la CEI gèrent des listes à jour des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(801): 1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 801: Acoustique et électroacoustique.*

CEI 866: 1987, *Caractéristiques et étalonnage des hydrophones fonctionnant dans la gamme des fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz.*

CEI 1102: 1991, *Mesurage et caractérisation des champs acoustiques au moyen d'hydrophones dans la gamme des fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz.*

CEI 1103: xxxx, *Mesurage de puissance acoustique dans les liquides dans la gamme des fréquences de 0,5 MHz à 25 MHz (à l'étude).*

3 Définitions

Les définitions suivantes s'appliquent pour le besoin de cette Norme internationale. Les définitions de certains paramètres déjà données dans la CEI 1102 et utilisées dans la présente norme y ont été répétées dans les articles 3.4 à 3.6 et 3.8 à 3.9.

3.1 **centre du faisceau:** Un point dans un plan dans le champ lointain, généralement normal à l'axe d'alignement du faisceau, où l'on trouve la pression acoustique crête spatiale/crête temporelle, dont on trouvera la définition dans la CEI 1102.

THE ABSOLUTE CALIBRATION OF HYDROPHONES USING THE PLANAR SCANNING TECHNIQUE IN THE FREQUENCY RANGE 0,5 MHz TO 15 MHz

1 Scope

This International Standard specifies a method of absolute calibration of hydrophones based on the planar scanning technique in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz.

NOTES

- 1 The titles of other publications referred to in this standard are listed on page 46.
- 2 Throughout this standard SI units are used. In the specification of certain parameters, such as instantaneous intensities, it may be convenient to use other units. For example, instantaneous intensity may be specified in W/cm^2 or mW/cm^2 .

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(801): 1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 801: Acoustics and electro-acoustics*.

IEC 866: 1987, *Characteristics and calibration of hydrophones for operation in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz*.

IEC 1102: 1991, *Measurement and characterization of ultrasonic fields using hydrophones in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz*.

IEC 1103: xxxx, *Ultrasonic power measurement in liquids in the frequency range 0,5 MHz to 25 MHz (being prepared)*.

3 Definitions

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply. Definitions of certain relevant parameters, given in IEC 1102, have been repeated in 3.4 to 3.6 and 3.8 to 3.9.

3.1 beam centre: Point in a plane in the far field, usually perpendicular to the beam alignment axis, at which the spatial-peak temporal-peak acoustic pressure occurs. See IEC 1102 for the definition of spatial-peak temporal-peak acoustic pressure.

3.2 balayage diamétral du faisceau: Ensemble de mesurages du niveau de sortie de l'hydrophone effectués sur une ligne droite passant par le centre du faisceau et normale à l'axe d'alignement du faisceau. Le balayage diamétral du faisceau peut avoir une extension différente de chaque côté du centre du faisceau.

3.3 rayon apparent du transducteur acoustique: Rayon d'un disque transducteur acoustique parfait fonctionnant en piston développant une distribution de pression acoustique théorique sensiblement équivalente à la distribution axiale de pression observée pour le transducteur sur une distance axiale limitée.

Symbole: a

Unité: mètre, m

3.4 rayon apparent de l'élément actif de l'hydrophone: Rayon d'un hydrophone récepteur constitué d'un disque rigide ayant une réponse directionnelle théorique de largeur angulaire égale à celle observée pour l'hydrophone réel. La largeur angulaire est déterminée pour un niveau déterminé en dessous de la valeur crête de la réponse directionnelle. Pour des niveaux spécifiés de -3 dB et -6 dB les rayons seront affectés des notations a_3 et a_6 respectivement (voir CEI 1102).

Symboles: a, a_3, a_6

Unité: mètre, m

3.5 sensibilité en bout de câble de l'hydrophone chargé: Rapport de la tension apparaissant à l'extrémité d'un câble incorporé à l'hydrophone ou sur son connecteur lorsqu'il est relié à une impédance spécifiée à la pression acoustique instantanée dans le champ libre non perturbé d'une onde plane à l'emplacement du centre de l'hydrophone si celui-ci était enlevé (voir CEI 1102).

Symbole: M_L

Unité: volt par pascal, V/Pa

3.6 champ lointain: Champ acoustique situé au-delà de la distance au transducteur à laquelle la pression acoustique instantanée et la vitesse des particules sont sensiblement en phase (voir CEI 1102).

3.7 point de référence de l'hydrophone: Point de l'hydrophone auquel ses caractéristiques électroacoustiques sont rapportées (voir CEI 50(801)).

3.8 pression acoustique instantanée: Valeur de la pression à un instant particulier et à un endroit particulier du champ ultrasonore diminuée de la pression atmosphérique (voir CEI 1102).

Symbole: p

Unité: pascal, Pa

3.9 Intensité instantanée: Énergie transmise dans la direction de propagation de l'onde acoustique par unité de temps et unité de surface normalement à la direction de propagation à un instant et un endroit particuliers du champ acoustique (voir CEI 1102).

Symbole: I

Unité: watt par mètre carré, W/m²

3.10 point de référence du transducteur: Point de référence pour les caractéristiques électroacoustiques du transducteur (voir CEI 50(801)).

3.2 diametrical beam scan: Set of measurements of the hydrophone output voltage made in a straight line passing through the beam centre and normal to the beam alignment axis. The diametrical beam scan may extend to different distances on either side of the beam centre.

3.3 effective radius of an ultrasonic transducer: Radius of a perfect disc piston-like ultrasonic transducer which has a predicted axial acoustic pressure distribution approximately equivalent to the observed axial acoustic pressure distribution over a limited axial distance.

Symbol: a
Unit: metre, m

3.4 effective radius of a hydrophone active element: Radius of a stiff disc receiver hydrophone which has a predicted directional response function with an angular width equal to the observed angular width. The angular width is determined at a specified level below the peak of the directional response function. For the specified levels of 3 dB and 6 dB the radii are denoted by a_3 and a_6 respectively (see IEC 1102).

Symbols: a, a_3, a_6
Unit: metre, m

3.5 end-of-cable loaded sensitivity of a hydrophone: Ratio of the instantaneous voltage at the end of any integral cable or connector of a hydrophone, when connected to a specified electrical input impedance, to the instantaneous acoustic pressure in the undisturbed free field of a plane wave in the position of the acoustic centre of the hydrophone (i.e. if the hydrophone were removed). See IEC 1102.

Symbol: M_L
Unit: volt per pascal, V/Pa.

3.6 far field: Acoustic (sound) field at distances from an ultrasonic transducer where the values of the instantaneous acoustic pressure and particle velocity are substantially in phase. See IEC 1102.

3.7 hydrophone reference point: Point to which electroacoustic characteristics of a hydrophone are referred. See IEC 50(801).

3.8 instantaneous acoustic pressure: Pressure minus the ambient pressure at a particular instant in time and at a particular point in an acoustic field. See IEC 1102.

Symbol: p
Unit: pascal, Pa

3.9 instantaneous intensity: Acoustic energy transmitted per unit time in the direction of acoustic wave propagation per unit area normal to this direction at a particular instant in time and at a particular point in an acoustic field. See IEC 1102.

Symbol: I
Unit: watt per metre squared, W/m²

3.10 transducer reference point: Point to which electroacoustic characteristics of the ultrasonic transducer are referred. See IEC 50(801).

4 Liste des symboles

a	= Rayon apparent de l'élément actif de l'hydrophone.
a_1	= Rayon apparent d'un transducteur.
A_1	= Aire apparente d'un transducteur.
A_g	= Aire géométrique d'un transducteur.
c	= Célérité du son dans un liquide (en général de l'eau).
$D(\Theta)$	= Fonction de réponse directionnelle normalisée.
f	= Fréquence ultrasonore.
$\vec{I}(x,y,z,t)$	= Vecteur d'intensité instantanée en un point (x,y,z) à l'instant t .
$I(x,y,z,t)$	= Module du vecteur d'intensité instantanée en un point (x,y,z) à l'instant t .
I_p	= Module de l'intensité instantanée en supposant sa proportionnalité au carré de la pression.
k	= $(= 2\pi / \lambda)$ Nombre d'onde circulaire.
l	= Distance de l'hydrophone à un transducteur.
M_c	= Sensibilité en bout de câble à circuit ouvert de l'hydrophone.
M_L	= Sensibilité en bout de câble de l'hydrophone chargé.
N	= Nombre d'échantillons sur le diamètre.
$p(x,y,z,t)$	= Pression acoustique instantanée en (x,y,z) à l'instant t .
P_1	= Amplitude de la pression acoustique à la face du transducteur.
$P(l)$	= Puissance acoustique totale traversant un plan infini situé à une distance l dans le champ acoustique d'un transducteur.
P_0	= Puissance acoustique totale émise par un transducteur.
r	= Distance d'un point du balayage au centre du faisceau.
R	= $(= l\lambda / \pi a_1^2)$ Distance normalisée entre un transducteur et l'hydrophone par rapport à la distance de Rayleigh $(\pi a_1^2 / \lambda)$.
R_{1i}, R_{2i}	= Distances du centre du faisceau aux extrémités du i ème balayage diamétral.
s	= Distance du centre du faisceau au point de balayage le plus proche.
$U_L(x,y,z,t)$	= Tension en bout de câble d'un hydrophone situé au point de référence (x,y,z) à l'instant t .
$U'_L(x,y,z,t)$	= Tension en bout de câble d'un hydrophone situé au point de référence (x,y,z) à l'instant t et incorporant le bruit.
$U_n(x,y,z)$	= Niveau de bruit efficace mesuré avec un hydrophone au point de référence (x,y,z) .
U_T	= Tension aux bornes d'un transducteur ultrasonore.
$\vec{v}(x,y,z,t)$	= Vitesse instantanée de déplacement des particules au point (x,y,z) à l'instant t .

4 List of symbols

a	= Effective radius of a hydrophone active element.
a_1	= Effective radius of an ultrasonic transducer.
A_1	= Effective area of an ultrasonic transducer.
A_g	= Geometrical area of an ultrasonic transducer.
c	= Speed of sound in a liquid (usually water).
$D(\theta)$	= Normalized directional response function.
f	= Ultrasonic frequency.
$\vec{I}(x,y,z,t)$	= Instantaneous intensity vector at the point (x,y,z) at time t .
$I(x,y,z,t)$	= Magnitude of the instantaneous intensity at the point (x,y,z) at time t .
I_p	= Magnitude of the instantaneous intensity assuming proportionality with acoustic pressure squared.
k	= $(= 2\pi / \lambda)$ Circular wave number.
l	= Distance between a hydrophone and an ultrasonic transducer.
M_c	= End-of-cable open-circuit sensitivity of a hydrophone.
M_L	= End-of-cable loaded sensitivity of a hydrophone.
N	= Number of diametrical samples.
$p(x,y,z,t)$	= Instantaneous acoustic pressure at the point (x,y,z) at time t .
p_1	= Acoustic pressure amplitude at the face of a transducer.
$P(l)$	= Total ultrasonic power passing through a plane of infinite extent in an acoustic field at a distance l from an ultrasonic transducer.
P_o	= Total ultrasonic power emitted by a transducer.
r	= Distance from the ultrasonic beam centre to a scan point.
R	= $(= l / \lambda / \pi a_1^2)$ Normalized distance between a transducer and a hydrophone in terms of the Rayleigh distance $(\pi a_1^2 / \lambda)$.
R_{1i}, R_{2i}	= Distances from the beam centre to the extremes of the i th diametrical beam scan.
s	= Distance from the ultrasonic beam centre to the nearest scan point.
$U_L(x,y,z,t)$	= End-of-cable voltage for a hydrophone with the hydrophone at the reference point (x,y,z) and at time t .
$U'_L(x,y,z,t)$	= End-of-cable voltage for a hydrophone including noise with the hydrophone at the reference point (x,y,z) and at time t .
$U_n(x,y,z)$	= Root-mean-square noise level measured with the hydrophone at the reference point (x,y,z) .
U_T	= Voltage at the terminals of an ultrasonic transducer.
$\vec{v}(x,y,z,t)$	= Instantaneous particle velocity vector at the point (x,y,z) at time t .