

This is a preview - click here to buy the full publication



IEC 62127-1

Edition 2.0 2022-03
REDLINE VERSION

INTERNATIONAL STANDARD



**Ultrasonics – Hydrophones –
Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields ~~up to~~
40 MHz**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

ICS 17.140.50

ISBN 978-2-8322-5195-9

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

CONTENTS

FOREWORD	6
INTRODUCTION	2
1 Scope and object	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Symbols	16
5 Measurement requirements	38
5.1 Requirements for hydrophones and amplifiers	38
5.1.1 Introduction Preface	38
5.1.2 General	38
5.1.3 Sensitivity of a hydrophone	39
5.1.4 Directional response of a hydrophone	39
5.1.5 Effective hydrophone radius size	39
5.1.6 Choice of the size of a hydrophone active element	40
5.1.7 Bandwidth	41
5.1.8 Linearity	42
5.1.9 Hydrophone signal amplifier	44
5.1.10 Hydrophone cable length and amplifiers	45
5.2 Requirements for positioning and water baths	45
5.2.1 General	45
5.2.2 Positioning systems	45
5.2.3 Water bath	46
5.3 Requirements for data acquisition and analysis systems	47
5.4 Recommendations for ultrasonic equipment being characterized	48
6 Measurement procedure	48
6.1 General	48
6.2 Preparation and alignment	48
6.2.1 Preparation	48
6.2.2 Aligning an ultrasonic transducer and a hydrophone	48
6.3 Measurement	49
6.4 Analysis	49
6.4.1 Corrections for restricted bandwidth and spatial resolution	49
6.4.2 Uncertainties	49
7 Beam characterization	49
7.1 General	49
7.2 Primary pressure parameters	51
7.2.1 General	51
7.2.2 Peak-compressional acoustic pressure and peak-rarefactional acoustic pressure	52
7.2.3 Spatial-peak RMS acoustic pressure	52
7.2.4 Local distortion parameter	53
7.3 Intensity parameters using instantaneous derived from acoustic pressure	53
7.3.1 General	53
7.3.2 Intensity parameters using pulse-pressure-squared integral	54
8 Requirements for specific ultrasonic fields	57

8.1	General.....	57
8.2	Diagnostic fields	57
8.2.1	Simplified procedures and guidelines.....	57
8.2.2	Pulsed wave diagnostic equipment	58
8.2.3	Continuous wave diagnostic equipment	59
8.2.4	Diagnostic equipment with low acoustic output	59
8.3	Therapy fields	59
8.3.1	Physiotherapy equipment.....	59
8.3.2	Hyperthermia.....	60
8.3.2	High intensity therapeutic ultrasonic fields	60
8.3.3	Non-focused and weakly focused pressure pulses	61
8.4	Surgical fields	61
8.4.1	Lithotripters and pressure pulse sources for other therapeutic purposes	61
8.4.2	Low frequency surgical applications.....	61
8.5	Fields from other medical applications	61
9	Compliance Conformity statement	61
9.1	General.....	61
9.2	Maximum probable values.....	62
9.3	Sampling.....	62
Annex A (informative) General rationale.....		63
Annex B (informative) Hydrophones and positioning		65
B.1	General.....	65
B.2	Electrical loading considerations	65
B.3	Hydrophone signal amplifier	65
B.4	Hydrophone cable length and amplifiers.....	65
B.5	Transducer positioning.....	66
B.6	Alignment of hydrophones.....	67
B.7	Water bath lining material	67
B.8	Recommendations for ultrasonic equipment being characterized.....	68
B.9	Types of hydrophones.....	68
B.9.1	Ceramic needle hydrophones	68
B.9.2	PVDF needle hydrophones	68
B.9.3	PVDF membrane hydrophones	69
B.9.4	Fibre-optic and optic hydrophones	69
B.9.5	Relative performance of different types.....	70
B.10	Typical specification data for hydrophones.....	70
Annex C (informative) Acoustic pressure and intensity.....		72
Annex D (informative) Voltage to pressure conversion		74
D.1	General.....	74
D.2	Hydrophone deconvolution procedure	75
D.3	Converting the data between double-sided and single-sided spectra.....	77
D.4	Use of hydrophone calibration data	79
D.4.1	Calibration data interpolation	79
D.4.2	Calibration data extrapolation	79
D.4.3	Regularization filtering.....	80
D.5	Implication of the hydrophone deconvolution process on measurement duration	79
D.6	Validation of deconvolution implementation.....	82

Annex E (informative) Correction for spatial averaging.....	83
E.1 Linear and quasilinear fields	83
E.2 Linear fields, quasilinear fields, and broadband nonlinearly distorted waveforms	85
Annex F (informative) Acoustic output parameters for multi-mode medical ultrasonic fields in the absence of scan-frame synchronization	88
F.1 General.....	88
F.2 Current philosophy.....	88
F.3 Need for change an alternative approach.....	89
F.4 Proposed changes approach.....	89
F.4.1 Alternative philosophy	89
F.4.2 Alternative parameters.....	90
F.5 Measurement methods.....	91
F.5.1 General	91
F.5.2 Peak pressures.....	92
F.5.3 Temporal-average intensity	92
F.5.4 Frequency	92
F.5.5 Power	93
F.6 Discussion	93
F.6.1 Relationship to existing standards	93
F.6.2 Advantages	93
F.6.3 Disadvantages.....	93
Annex G (informative) Propagation medium and degassing.....	95
Annex H (informative) Specific ultrasonic fields.....	96
H.1 Diagnostic fields	96
H.1.1 Useful relationships between acoustical parameters	96
H.1.2 Pulsed wave diagnostic equipment	97
H.1.3 Continuous wave diagnostic equipment	98
H.2 Therapy fields	98
H.2.1 Physiotherapy equipment.....	98
H.2.2 Hyperthermia.....	98
H.2.2 High intensity therapeutic ultrasonic equipment	98
H.2.3 Non-focused and weakly focused pressure pulses	99
H.3 Surgical fields	99
H.3.1 Lithotripters	99
H.3.2 Low frequency surgical applications.....	99
Annex I (informative) Assessment of uncertainty in the acoustic quantities obtained by hydrophone measurements.....	100
I.1 General.....	100
I.2 Overall (expanded) uncertainty	100
I.3 Common sources of uncertainty	100
Annex J (informative) Transducer and hydrophone positioning systems	102
Annex K (informative) Beamwidth midpoint method.....	103
Bibliography.....	36
Figure 1 – Schematic diagram of the different planes and lines in an ultrasonic field	14
Figure 2 – Several apertures and planes for a transducer of unknown geometry	28

Figure 3 – Parameters for describing an example of a focusing transducer of known geometry	33
Figure 4 – Schematic diagram of the method of determining pulse duration	51
Figure D.1 – A flow diagram of the hydrophone deconvolution process	77
Figure D.2 – Example of waveform deconvolution	81
Figure J.1 – Schematic diagram of the ultrasonic transducer and hydrophone degrees of freedom	102
Table 1 – Acoustic parameters appropriate to various types of medical ultrasonic equipment.....	50
Table B.1 – Typical specification data for hydrophones, in this case given at 1 MHz [69].....	71
Table C.1 – Properties of distilled or de-ionized water as a function of temperature [71]	73
Table D.1 – Method of conversion from a double- to a single-sided spectrum	78
Table D.2 – Method of conversion from a single- to a double-sided spectrum	78
Table F.1 – Main basic parameters defined in this document or in IEC 61161	89
Table F.2 – List of parameters that are to be used or are to be deleted.....	91
Table K.1 – Decibel beamwidth levels for determining midpoints.....	103

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ULTRASONICS – HYDROPHONES –

Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields ~~up to 40 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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.

This redline version of the official IEC Standard allows the user to identify the changes made to the previous edition IEC 62127-1:2007+AMD1:2013 CSV. A vertical bar appears in the margin wherever a change has been made. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text.

IEC 62127-1 has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007 and Amendment 1:2013. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition.

- a) The upper frequency limit of 40 MHz has been removed.
- b) Hydrophone sensitivity definitions have been changed to recognize sensitivities as complex-valued quantities.
- c) Procedures and requirements for narrow-band approximation and broadband measurements have been modified; details on waveform deconvolution have been added.
- d) Procedures for spatial averaging correction have been amended.
- e) Annex D, Annex E and bibliography have been updated to support the changes of the normative parts.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
87/783/FDIS	87/788/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts of IEC 62127 series, published under the general title *Ultrasonics – Hydrophones*, can be found on the IEC website.

NOTE Words in **bold** in the text are terms defined in Clause 3.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The main purpose of this document is to define various acoustic parameters that can be used to specify and characterize ultrasonic fields propagating in liquids, and, in particular, water, using hydrophones. Measurement procedures are outlined that may be used to determine these parameters. Specific device related measurement standards, for example IEC 61689, IEC 61157, IEC 61847 or IEC 62359, can refer to this document for appropriate acoustic parameters. In IEC 62359, some additional measurement methods for attenuated parameters and indices are described addressing the specific needs of acoustic output characterization of ultrasonic diagnostic equipment in accordance with IEC 60601-2-37.

The philosophy behind this document is the specification of the acoustic field in terms of acoustic pressure parameters, acoustic pressure being the primary measurement quantity when hydrophones are used to characterize the field.

Intensity parameters are specified in this document, but these are regarded as derived quantities that are meaningful only under certain assumptions related to the ultrasonic field being measured.

ULTRASONICS – HYDROPHONES –

Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields ~~up to 40 MHz~~

1 ~~Scope and object~~

This part of IEC 62127 specifies methods of use of calibrated **hydrophones** for the measurement in liquids of acoustic fields generated by ultrasonic medical equipment ~~operating in the frequency range up to 40 MHz~~ including **bandwidth** criteria and calibration frequency range requirements in dependence on the spectral content of the fields to be characterized.

This document:

- defines a group of acoustic parameters that can be measured on a physically sound basis;
- defines a second group of parameters that can be derived under certain assumptions from these measurements, and called derived intensity parameters;
- defines a measurement procedure that ~~may~~ can be used for the determination of acoustic pressure parameters;
- defines the conditions under which the measurements of acoustic parameters can be made ~~in the frequency range up to 40 MHz~~ using calibrated **hydrophones**;
- defines procedures for correcting for limitations caused by the use of **hydrophones** with finite **bandwidth** and finite active element size, and for **estimating the corresponding uncertainties**.

NOTE 1 Throughout this document, SI units are used. In the specification of certain parameters, such as **beam areas** and intensities, it ~~may~~ can be convenient to use decimal multiples or submultiples. For example, **beam area** ~~may~~ is likely to be specified in cm² and intensities in W/cm² or mW/cm².

NOTE 2 The **hydrophone** as defined ~~may~~ can be of a piezoelectric or an optic type.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60050-801:1994, International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics~~

~~IEC 60565, Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz~~

IEC 60565-1, Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration of hydrophones – Part 1: Procedures for free-field calibration of hydrophones

~~IEC/TR 60854:1986, Methods of measuring the performance of ultrasonic pulse-echo diagnostic equipment~~

IEC 61689, Ultrasonics – Physiotherapy systems – ~~Performance requirements~~ Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz

~~IEC 61828, Ultrasonics – Focusing transducers – Definitions and measurement methods for the transmitted fields~~

~~IEC 61846, Ultrasonics – Pressure pulse lithotripters – Characteristics of fields~~

~~IEC 61847, Ultrasonics – Surgical systems – Measurement and declaration of the basic output characteristics~~

IEC 62127-2, Ultrasonics – Hydrophones – Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz

IEC 62127-3, Ultrasonics – Hydrophones – Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz

IEC 63009, Ultrasonics – Physiotherapy systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 20 kHz to 500 kHz

ISO 16269-6:2005, Statistical interpretation of data – Part 6: Determination of statistical tolerance intervals

ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

~~NOTE – The following standards rely on the proper use of this document.~~

~~IEC 61157, Standard means for the reporting of the acoustic output of medical diagnostic ultrasonic equipment~~

~~IEC 62359, Ultrasonics – Field characterization – Test methods for the determination of thermal and mechanical indices related to medical diagnostic ultrasonic fields~~

~~IEC 61847, Ultrasonics – Surgical systems – Measurement and declaration of the basic output characteristics.~~

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Ultrasonics – Hydrophones –
Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields**

**Ultrasons – Hydrophones –
Partie 1: Mesurage et caractérisation des champs ultrasoniques médicaux**



CONTENTS

FOREWORD	6
INTRODUCTION	8
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Symbols	32
5 Measurement requirements	34
5.1 Requirements for hydrophones and amplifiers.....	34
5.1.1 Preface.....	34
5.1.2 General	34
5.1.3 Sensitivity of a hydrophone.....	35
5.1.4 Directional response of a hydrophone.....	35
5.1.5 Effective hydrophone size.....	35
5.1.6 Choice of the size of a hydrophone active element	35
5.1.7 Bandwidth.....	37
5.1.8 Linearity	40
5.1.9 Hydrophone signal amplifier	40
5.1.10 Hydrophone cable length and amplifiers	40
5.2 Requirements for positioning and water baths.....	41
5.2.1 General	41
5.2.2 Positioning systems	41
5.2.3 Water bath.....	42
5.3 Requirements for data acquisition and analysis systems.....	43
5.4 Recommendations for ultrasonic equipment being characterized.....	43
6 Measurement procedure	43
6.1 General.....	43
6.2 Preparation and alignment	44
6.2.1 Preparation.....	44
6.2.2 Aligning an ultrasonic transducer and a hydrophone	44
6.3 Measurement.....	44
6.4 Analysis	44
6.4.1 Corrections for restricted bandwidth and spatial resolution	44
6.4.2 Uncertainties	44
7 Beam characterization	45
7.1 General.....	45
7.2 Primary pressure parameters	46
7.2.1 General	46
7.2.2 Peak-compressional acoustic pressure and peak-rarefactional acoustic pressure	47
7.2.3 Spatial-peak RMS acoustic pressure	47
7.2.4 Local distortion parameter	48
7.3 Intensity parameters derived from acoustic pressure.....	48
7.3.1 General	48
7.3.2 Intensity parameters using pulse-pressure-squared integral	49
8 Requirements for specific ultrasonic fields	52

8.1	General.....	52
8.2	Diagnostic fields	52
8.2.1	Simplified procedures and guidelines.....	52
8.2.2	Pulsed wave diagnostic equipment	52
8.2.3	Continuous wave diagnostic equipment	53
8.2.4	Diagnostic equipment with low acoustic output	54
8.3	Therapy fields	54
8.3.1	Physiotherapy equipment.....	54
8.3.2	High intensity therapeutic ultrasonic fields	55
8.3.3	Non-focused and weakly focused pressure pulses	55
8.4	Surgical fields	55
8.4.1	Lithotripters and pressure pulse sources for other therapeutic purposes	55
8.4.2	Low frequency surgical applications.....	56
8.5	Fields from other medical applications	56
9	Conformity statement.....	56
9.1	General.....	56
9.2	Maximum probable values.....	56
9.3	Sampling.....	57
Annex A (informative) General rationale.....		58
Annex B (informative) Hydrophones and positioning		60
B.1	General.....	60
B.2	Electrical loading considerations	60
B.3	Hydrophone signal amplifier.....	60
B.4	Hydrophone cable length and amplifiers.....	60
B.5	Transducer positioning.....	61
B.6	Alignment of hydrophones.....	62
B.7	Water bath lining material	62
B.8	Recommendations for ultrasonic equipment being characterized.....	62
B.9	Types of hydrophones.....	63
B.9.1	Ceramic needle hydrophones	63
B.9.2	PVDF needle hydrophones	63
B.9.3	PVDF membrane hydrophones	63
B.9.4	Fibre-optic and optic hydrophones	64
B.9.5	Relative performance of different types.....	65
B.10	Typical specification data for hydrophones.....	65
Annex C (informative) Acoustic pressure and intensity		66
Annex D (informative) Voltage to pressure conversion		68
D.1	General.....	68
D.2	Hydrophone deconvolution procedure	69
D.3	Converting the data between double-sided and single-sided spectra	70
D.4	Use of hydrophone calibration data	72
D.4.1	Calibration data interpolation	72
D.4.2	Calibration data extrapolation	72
D.4.3	Regularization filtering	73
D.5	Implication of the hydrophone deconvolution process on measurement duration	74
D.6	Validation of deconvolution implementation.....	75
Annex E (informative) Correction for spatial averaging.....		76

E.1	Linear and quasilinear fields	76
E.2	Linear fields, quasilinear fields, and broadband nonlinearly distorted waveforms	78
Annex F (informative) Acoustic output parameters for multi-mode medical ultrasonic fields in the absence of scan-frame synchronization		81
F.1	General.....	81
F.2	Current philosophy.....	81
F.3	Need for an alternative approach	82
F.4	Proposed approach.....	82
F.4.1	Alternative philosophy	82
F.4.2	Alternative parameters.....	83
F.5	Measurement methods.....	84
F.5.1	General	84
F.5.2	Peak pressures.....	84
F.5.3	Temporal-average intensity	84
F.5.4	Frequency	85
F.5.5	Power	85
F.6	Discussion	85
F.6.1	Relationship to existing standards	85
F.6.2	Advantages	86
F.6.3	Disadvantages.....	86
Annex G (informative) Propagation medium and degassing.....		87
Annex H (informative) Specific ultrasonic fields.....		88
H.1	Diagnostic fields	88
H.1.1	Useful relationships between acoustical parameters	88
H.1.2	Pulsed wave diagnostic equipment	89
H.1.3	Continuous wave diagnostic equipment	89
H.2	Therapy fields	90
H.2.1	Physiotherapy equipment.....	90
H.2.2	High intensity therapeutic ultrasonic equipment	90
H.2.3	Non-focused and weakly focused pressure pulses	90
H.3	Surgical fields	90
H.3.1	Lithotripters	90
H.3.2	Low frequency surgical applications.....	90
Annex I (informative) Assessment of uncertainty in the acoustic quantities obtained by hydrophone measurements.....		91
I.1	General.....	91
I.2	Overall (expanded) uncertainty	91
I.3	Common sources of uncertainty	91
Annex J (informative) Transducer and hydrophone positioning systems		93
Annex K (informative) Beamwidth midpoint method.....		94
Bibliography.....		95
Figure 1 – Schematic diagram of the different planes and lines in an ultrasonic field		12
Figure 2 – Several apertures and planes for a transducer of unknown geometry		26
Figure 3 – Parameters for describing a focusing transducer of known geometry.....		29
Figure 4 – Schematic diagram of the method of determining pulse duration		46
Figure D.1 – A flow diagram of the hydrophone deconvolution process		70

Figure D.2 – Example of waveform deconvolution	74
Figure J.1 – Schematic diagram of the ultrasonic transducer and hydrophone degrees of freedom	93
Table 1 – Acoustic parameters appropriate to various types of medical ultrasonic equipment.....	45
Table B.1 – Typical specification data for hydrophones, in this case given at 1 MHz [69].....	65
Table C.1 – Properties of distilled or de-ionized water as a function of temperature [71]	67
Table D.1 – Method of conversion from a double- to a single-sided spectrum	71
Table D.2 – Method of conversion from a single- to a double-sided spectrum	71
Table F.1 – Main basic parameters defined in this document or in IEC 61161	82
Table F.2 – List of parameters that are to be used or are to be deleted.....	83
Table K.1 – Decibel beamwidth levels for determining midpoints.....	94

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ULTRASONICS – HYDROPHONES –

Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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.

IEC 62127-1 has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007 and Amendment 1:2013. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition.

- a) The upper frequency limit of 40 MHz has been removed.
- b) Hydrophone sensitivity definitions have been changed to recognize sensitivities as complex-valued quantities.
- c) Procedures and requirements for narrow-band approximation and broadband measurements have been modified; details on waveform deconvolution have been added.
- d) Procedures for spatial averaging correction have been amended.
- e) Annex D, Annex E and bibliography have been updated to support the changes of the normative parts.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
87/783/FDIS	87/788/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts of IEC 62127 series, published under the general title *Ultrasonics – Hydrophones*, can be found on the IEC website.

NOTE Words in **bold** in the text are terms defined in Clause 3.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

INTRODUCTION

The main purpose of this document is to define various acoustic parameters that can be used to specify and characterize ultrasonic fields propagating in liquids, and, in particular, water, using hydrophones. Measurement procedures are outlined that may be used to determine these parameters. Specific device related measurement standards, for example IEC 61689, IEC 61157, IEC 61847 or IEC 62359, can refer to this document for appropriate acoustic parameters. In IEC 62359, some additional measurement methods for attenuated parameters and indices are described addressing the specific needs of acoustic output characterization of ultrasonic diagnostic equipment in accordance with IEC 60601-2-37.

The philosophy behind this document is the specification of the acoustic field in terms of acoustic pressure parameters, acoustic pressure being the primary measurement quantity when hydrophones are used to characterize the field.

Intensity parameters are specified in this document, but these are regarded as derived quantities that are meaningful only under certain assumptions related to the ultrasonic field being measured.

ULTRASONICS – HYDROPHONES –

Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields

1 Scope

This part of IEC 62127 specifies methods of use of calibrated **hydrophones** for the measurement in liquids of acoustic fields generated by ultrasonic medical equipment including **bandwidth** criteria and calibration frequency range requirements in dependence on the spectral content of the fields to be characterized.

This document:

- defines a group of acoustic parameters that can be measured on a physically sound basis;
- defines a second group of parameters that can be derived under certain assumptions from these measurements, and called derived intensity parameters;
- defines a measurement procedure that can be used for the determination of acoustic pressure parameters;
- defines the conditions under which the measurements of acoustic parameters can be made using calibrated **hydrophones**;
- defines procedures for correcting for limitations caused by the use of **hydrophones** with finite **bandwidth** and finite active element size, and for estimating the corresponding **uncertainties**.

NOTE 1 Throughout this document, SI units are used. In the specification of certain parameters, such as **beam areas** and intensities, it can be convenient to use decimal multiples or submultiples. For example, **beam area** is likely to be specified in cm^2 and intensities in W/cm^2 or mW/cm^2 .

NOTE 2 The **hydrophone** as defined can be of a piezoelectric or an optic type.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60565-1, *Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration of hydrophones – Part 1: Procedures for free-field calibration of hydrophones*

IEC 61689, *Ultrasonics – Physiotherapy systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz*

IEC 62127-2, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz*

IEC 62127-3, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz*

IEC 63009, *Ultrasonics – Physiotherapy systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 20 kHz to 500 kHz*

ISO 16269-6, *Statistical interpretation of data – Part 6: Determination of statistical tolerance intervals*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	108
INTRODUCTION	110
1 Domaine d'application	111
2 Références normatives	111
3 Termes et définitions	112
4 Symboles	135
5 Exigences de mesure	137
5.1 Exigences relatives aux hydrophones et aux amplificateurs	137
5.1.1 Avertissement	137
5.1.2 Généralités	137
5.1.3 Sensibilité d'un hydrophone	138
5.1.4 Réponse directionnelle d'un hydrophone	138
5.1.5 Taille efficace de l'hydrophone	138
5.1.6 Choix de la taille de l'élément actif d'un hydrophone	138
5.1.7 Largeur de bande	140
5.1.8 Linéarité	143
5.1.9 Amplificateur de signal de l'hydrophone	143
5.1.10 Longueur du câble de l'hydrophone et amplificateurs	144
5.2 Exigences de positionnement et bains-marie	144
5.2.1 Généralités	144
5.2.2 Systèmes de positionnement	144
5.2.3 Bain-marie	145
5.3 Exigences liées aux systèmes d'acquisition et d'analyse des données	147
5.4 Recommandations concernant les appareils à ultrasons en cours de caractérisation	147
6 Mode opératoire de mesure	147
6.1 Généralités	147
6.2 Préparation et alignement	147
6.2.1 Préparation	147
6.2.2 Alignement d'un transducteur ultrasonique et d'un hydrophone	148
6.3 Mesurage	148
6.4 Analyse	148
6.4.1 Corrections de la largeur de bande limitée et de la résolution spatiale	148
6.4.2 Incertitudes	148
7 Caractérisation du faisceau	148
7.1 Généralités	148
7.2 Paramètres de pression principaux	150
7.2.1 Généralités	150
7.2.2 Pression acoustique de compression de crête et pression acoustique de raréfaction de crête	151
7.2.3 Pression acoustique efficace à la crête spatiale	151
7.2.4 Paramètre de déformation locale	152
7.3 Paramètres d'intensité dérivés de la pression acoustique	152
7.3.1 Généralités	152
7.3.2 Paramètres d'intensité utilisant l'intégrale de pression d'impulsion au carré	153

8	Exigences liées aux champs ultrasoniques spécifiques.....	156
8.1	Généralités	156
8.2	Champs de diagnostic.....	156
8.2.1	Modes opératoires simplifiés et lignes directrices	156
8.2.2	Appareil de diagnostic à ondes pulsées	157
8.2.3	Appareil de diagnostic à ondes entretenues.....	157
8.2.4	Appareil de diagnostic à faible émission acoustique	158
8.3	Champs thérapeutiques	158
8.3.1	Appareils de physiothérapie.....	158
8.3.2	Champs ultrasoniques thérapeutiques de haute intensité.....	159
8.3.3	Ondes de pression non focalisées et faiblement focalisées.....	160
8.4	Champs chirurgicaux	160
8.4.1	Lithotripteurs et sources à ondes de pression utilisés à d'autres fins thérapeutiques.....	160
8.4.2	Applications chirurgicales à basse fréquence.....	160
8.5	Champs provenant d'autres applications médicales	160
9	Déclaration de conformité.....	160
9.1	Généralités	160
9.2	Valeurs probables maximales	161
9.3	Échantillonnage	161
	Annexe A (informative) Analyse raisonnée générale	162
	Annexe B (informative) Hydrophones et positionnement	165
B.1	Généralités	165
B.2	Considérations relatives à la charge électrique	165
B.3	Amplificateur de signal de l'hydrophone	165
B.4	Longueur du câble de l'hydrophone et amplificateurs	165
B.5	Positionnement du transducteur.....	166
B.6	Alignement des hydrophones	167
B.7	Matériau de revêtement du bain-marie	167
B.8	Recommandations concernant les appareils à ultrasons en cours de caractérisation	168
B.9	Types d'hydrophones.....	168
B.9.1	Hydrophones à aiguille céramique	168
B.9.2	Hydrophones à aiguille PVDF	168
B.9.3	Hydrophones à membrane PVDF.....	169
B.9.4	Hydrophones optiques et à fibre optique.....	169
B.9.5	Performances relatives des différents types d'hydrophone.....	170
B.10	Données de spécification types pour les hydrophones	170
	Annexe C (informative) Pression et intensité acoustiques	172
	Annexe D (informative) Conversion de la tension en pression.....	174
D.1	Généralités	174
D.2	Mode opératoire de déconvolution de l'hydrophone.....	175
D.3	Conversion des données du spectre à double bande en spectre à une seule bande	176
D.4	Utilisation des données d'étalonnage de l'hydrophone	178
D.4.1	Interpolation des données d'étalonnage.....	178
D.4.2	Extrapolation des données d'étalonnage.....	179
D.4.3	Filtrage de régularisation	180

D.5	Implication du processus de déconvolution de l'hydrophone sur la durée du mesurage.....	181
D.6	Validation de la mise en œuvre de la déconvolution.....	182
Annexe E (informative)	Correction de la moyenne spatiale	183
E.1	Champs linéaires et quasi-linéaires.....	183
E.2	Champs linéaires, champs quasi-linéaires et formes d'onde à large bande et à déformation non linéaire	185
Annexe F (informative)	Paramètres d'émission acoustique de champs ultrasoniques médicaux multimodaux en l'absence de synchronisation exploration-cadre	188
F.1	Généralités	188
F.2	Philosophie actuelle.....	188
F.3	Nécessité d'une approche alternative.....	189
F.4	Approche proposée.....	189
F.4.1	Philosophie alternative	189
F.4.2	Paramètres alternatifs	190
F.5	Méthodes de mesure	191
F.5.1	Généralités.....	191
F.5.2	Pressions de crête.....	191
F.5.3	Intensité dérivée de la moyenne temporelle	192
F.5.4	Fréquence	192
F.5.5	Puissance.....	192
F.6	Discussion	193
F.6.1	Relations avec les normes existantes	193
F.6.2	Avantages	193
F.6.3	Inconvénients	194
Annexe G (informative)	Milieu de propagation et dégazage.....	195
Annexe H (informative)	Champs ultrasoniques particuliers.....	196
H.1	Champs de diagnostic.....	196
H.1.1	Relations utiles entre les paramètres acoustiques	196
H.1.2	Appareil de diagnostic à ondes pulsées	197
H.1.3	Appareil de diagnostic à ondes entretenues.....	198
H.2	Champs thérapeutiques	198
H.2.1	Appareils de physiothérapie.....	198
H.2.2	Appareils ultrasonores thérapeutiques de haute intensité	198
H.2.3	Ondes de pression non focalisées et faiblement focalisées.....	199
H.3	Champs chirurgicaux	199
H.3.1	Lithotripteurs	199
H.3.2	Applications chirurgicales à basse fréquence.....	199
Annexe I (informative)	Évaluation de l'incertitude dans les grandeurs acoustiques obtenues par suite des mesurages de l'hydrophone.....	200
I.1	Généralités	200
I.2	Incertitude (élargie) globale	200
I.3	Sources communes d'incertitude.....	200
Annexe J (informative)	Systèmes de positionnement du transducteur et de l'hydrophone	202
Annexe K (informative)	Méthode du point médian de largeur de faisceau.....	203
Bibliographie.....		204

Figure 1 – Schéma représentant les différents plans et différentes lignes d'un champ ultrasonique	114
Figure 2 – Ouvertures et plans différents pour un transducteur de géométrie inconnue.....	128
Figure 3 – Paramètres pour la description d'un transducteur focalisant de géométrie connue.....	132
Figure 4 – Schéma représentant la méthode de détermination de la durée d'impulsion	150
Figure D.1 – Organigramme du processus de déconvolution de l'hydrophone	176
Figure D.2 – Exemple de déconvolution de forme d'onde	181
Figure J.1 – Schéma représentant les degrés de liberté du transducteur ultrasonique et de l'hydrophone	202
Tableau 1 – Paramètres acoustiques adaptés aux différents types d'appareils médicaux à ultrasons	149
Tableau B.1 – Données de spécification types pour les hydrophones, dans ce cas données à 1 MHz [69]	171
Tableau C.1 – Propriétés de l'eau distillée ou déionisée en fonction de la température [71]	173
Tableau D.1 – Méthode de conversion d'un spectre à double bande en spectre à une seule bande	177
Tableau D.2 – Méthode de conversion d'un spectre à une seule bande en spectre à double bande.....	178
Tableau F.1 – Principaux paramètres de base définis dans le présent document ou dans l'IEC 61161	189
Tableau F.2 – Liste des paramètres qui doivent être utilisés ou supprimés	190
Tableau K.1 – Niveaux de largeur de faisceau en décibel pour déterminer les points médians	203

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ULTRASONS – HYDROPHONES –

Partie 1: Mesurage et caractérisation des champs ultrasoniques médicaux

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62127-1 a été établie par le comité d'études 87 de l'IEC: Ultrasons. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2007 ainsi que l'Amendement 1:2013. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente.

- a) La limite supérieure de fréquence de 40 MHz a été supprimée.
- b) Les définitions de la sensibilité des hydrophones ont été modifiées pour considérer les sensibilités comme des grandeurs à valeurs complexes.

- c) Les modes opératoires et les exigences concernant l'approximation à bande étroite et les mesurages à large bande ont été modifiés; des informations détaillées sur la déconvolution des formes d'onde ont été ajoutés.
- d) Les modes opératoires de correction de la moyenne spatiale ont été modifiés.
- e) L'Annexe D, l'Annexe E et la Bibliographie ont été mises à jour pour tenir compte des modifications apportées aux parties normatives.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
87/783/FDIS	87/788/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62127, publiées sous le titre général *Ultrasons – Hydrophones*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

NOTE Les mots en **gras** dans le texte sont des termes définis à l'Article 3.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

Le présent document a pour principal objet de définir différents paramètres acoustiques qui peuvent être utilisés pour préciser et caractériser les champs ultrasoniques qui se propagent dans les liquides et, en particulier, dans l'eau, à l'aide d'hydrophones. Les modes opératoires de mesure présentés peuvent être utilisés pour déterminer ces paramètres. Les normes de mesure liées à des appareils spécifiques (IEC 61689, IEC 61157, IEC 61847 ou IEC 62359, par exemple) peuvent se rapporter au présent document pour des paramètres acoustiques appropriés. Quelques méthodes de mesure supplémentaires des paramètres et indices atténués sont décrites dans l'IEC 62359 pour répondre aux besoins spécifiques de caractérisation des émissions acoustiques des appareils de diagnostic à ultrasons conformément à l'IEC 60601-2-37.

La philosophie sur laquelle repose le présent document porte sur la spécification du champ acoustique en matière de paramètres de pression acoustique, cette dernière étant la principale grandeur de mesure lorsque des hydrophones sont utilisés pour caractériser le champ.

Les paramètres d'intensité sont spécifiés dans le présent document. Cependant, ils sont considérés comme des grandeurs dérivées qui sont significatives uniquement dans le cadre de certaines hypothèses liées au champ ultrasonique mesuré.

ULTRASONS – HYDROPHONES –

Partie 1: Mesurage et caractérisation des champs ultrasoniques médicaux

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62127 spécifie les méthodes d'utilisation des **hydrophones** étalonnés qui permettent de mesurer, dans des liquides, les champs acoustiques générés par des appareils médicaux à ultrasons, y compris les critères de **largeur de bande** et les exigences de plage de fréquences d'étalonnage en fonction du contenu spectral des champs à caractériser.

Le présent document:

- définit un groupe de paramètres acoustiques qui peuvent être mesurés sur une base physiquement sonore;
- définit un second groupe de paramètres qui peuvent être déduits, dans le cadre de certaines hypothèses, de ces mesurages et appelés paramètres d'intensité dérivés;
- définit un mode opératoire de mesure qui peut être utilisé pour déterminer les paramètres de pression acoustique;
- définit les conditions dans lesquelles les mesurages des paramètres acoustiques peuvent être réalisés à l'aide d'**hydrophones** étalonnés;
- définit les modes opératoires de correction, dans le cas de limitations provoquées par l'utilisation d'**hydrophones** à **largeur de bande** finie et de taille d'élément actif, ainsi que les modes opératoires d'estimation des **incertitudes** correspondantes.

NOTE 1 Tout au long du présent document, le système international d'unités (SI) est utilisé. Dans la spécification de certains paramètres (les **surfaces du faisceau** ou les intensités, par exemple), il peut être utile d'utiliser des multiples ou sous-multiples décimaux. Par exemple, la **surface du faisceau** est susceptible d'être exprimée en cm^2 et les intensités en W/cm^2 ou mW/cm^2 .

NOTE 2 L'**hydrophone**, tel qu'il est défini, peut être de type piézoélectrique ou optique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60565-1, *Acoustique sous-marine – Hydrophones – Étalonnage des hydrophones – Partie 1: Procédures d'étalonnage en champ libre des hydrophones*

IEC 61689, *Ultrasons – Systèmes de physiothérapie – Spécifications des champs et méthodes de mesure dans la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 5 MHz*

IEC 62127-2, *Ultrasons – Hydrophones – Partie 2: Étalonnage des champs ultrasoniques jusqu'à 40 MHz*

IEC 62127-3, *Ultrasons – Hydrophones – Partie 3: Propriétés des hydrophones pour les champs ultrasoniques jusqu'à 40 MHz*

IEC 63009, *Ultrasons – Systèmes de physiothérapie – Spécifications des champs et méthodes de mesure dans la plage de fréquences de 20 kHz à 500 kHz*

ISO 16269-6, *Interprétation statistique des données – Partie 6: Détermination des intervalles statistiques de dispersion*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*