

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Sound system equipment –
Part 21: Acoustical (output-based) measurements**

**Équipements pour systèmes électroacoustiques –
Partie 21: Mesures acoustiques (basées sur la sortie)**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Sound system equipment –
Part 21: Acoustical (output-based) measurements**

**Équipements pour systèmes électroacoustiques –
Partie 21: Mesures acoustiques (basées sur la sortie)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.160.01

ISBN 978-2-8322-6657-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	8
INTRODUCTION.....	10
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 Terms, definitions and abbreviated terms	12
3.1 Terms and definitions.....	12
3.2 Abbreviated terms.....	12
4 Type description	12
5 Physical characteristics	12
5.1 Marking of terminals and controls	12
5.2 Dimensions	12
5.3 Mass.....	12
5.4 Connectors and cable assemblies.....	13
6 Design data	13
7 Conditions	13
7.1 Rated conditions	13
7.2 Climatic conditions.....	13
7.3 Normal measuring conditions	13
8 Test signals	14
8.1 General.....	14
8.2 Sinusoidal chirp	14
8.3 Steady-state single-tone signal	15
8.4 Steady-state two-tone signal	15
8.5 Sparse multi-tone complex.....	15
8.6 Broadband noise signal.....	16
8.7 Narrow-band noise signal	16
8.8 Hann-burst signal.....	16
8.9 Impulsive signal.....	17
9 Acoustical environment.....	17
9.1 General.....	17
9.2 Free-field conditions	17
9.3 Half-space, free-field conditions.....	17
9.4 Simulated free-field conditions	17
9.5 Half-space simulated free-field conditions	17
9.6 Diffuse sound field conditions	18
9.7 Target application conditions	18
10 Positioning of the DUT.....	18
10.1 Rated geometrical conditions	18
10.1.1 General	18
10.1.2 Reference plane and normal vector	18
10.1.3 Reference point	18
10.1.4 Reference axis	19
10.1.5 Orientation vector	19
10.1.6 Evaluation point.....	19
10.1.7 Evaluation distance	19

10.2	Measuring distance between DUT and microphone	20
10.2.1	Far-field conditions	20
10.2.2	Near-field conditions	20
10.2.3	Diffuse field conditions	20
10.2.4	Target application condition	21
11	Measurement equipment and test results	21
12	Accuracy of the acoustical measurement	21
12.1	General	21
12.2	Measurement uncertainty	21
13	Mounting of the DUT	22
13.1	Mounting and acoustic loading of drive units	22
13.2	Mounting and acoustic loading of an electro-acoustic system	22
14	Preconditioning	23
15	Rated ambient conditions	23
15.1	Temperature ranges	23
15.1.1	Performance limited temperature range	23
15.1.2	Damage limited temperature range	23
15.2	Humidity ranges	23
15.2.1	Relative humidity range	23
15.2.2	Damage limited humidity range	23
16	Rated frequency range	23
17	Input signal	23
17.1	Rated maximum input value	23
17.1.1	Condition to be specified	23
17.1.2	Direct measurement	24
17.1.3	Indirect measurement based on SPL_{max}	25
17.2	Maximum input level	25
18	Sound-pressure output	26
18.1	Rated maximum sound pressure	26
18.1.1	Conditions to be specified	26
18.1.2	Direct measurement	26
18.1.3	Indirect measurement based on maximum input value	27
18.2	Rated maximum sound-pressure level	27
18.3	Short term maximum sound pressure level	27
18.3.1	Conditions to be specified	27
18.3.2	Method of measurement	28
18.4	Long term maximum sound pressure level	28
18.4.1	Conditions to be specified	28
18.4.2	Method of measurement	29
18.5	Sound pressure in a stated frequency band	29
18.5.1	Condition to be specified	29
18.5.2	Method of measurement	29
18.6	Sound-pressure level in a stated frequency band	30
18.7	Mean sound-pressure in a stated frequency range	30
18.7.1	Condition to be specified	30
18.7.2	Method of measurement	30
18.8	Mean sound-pressure level in a stated frequency range	30

19	Frequency response of the fundamental component	30
19.1	Transfer function	30
19.1.1	Conditions to be specified	30
19.1.2	Method of measurements	30
19.2	SPL frequency response	32
19.2.1	Conditions to be specified	32
19.2.2	Method of measurement	32
19.3	Time-varying amplitude compression of the fundamental component	33
19.3.1	General	33
19.3.2	Method of measurement	33
19.4	Amplitude compression at maximum input	33
19.4.1	Short term amplitude compression	33
19.4.2	Method of measurement	33
19.4.3	Long-term amplitude compression	34
19.4.4	Method of measurement	34
19.5	Corrections based on a free-field reference measurement	34
19.5.1	General	34
19.5.2	Correction of the measured sound pressure signal	34
19.5.3	Correction of the amplitude response	35
19.6	Effective frequency range	36
19.6.1	Conditions to be specified	36
19.6.2	Method of measurement	36
19.7	Internal latency	36
19.7.1	Conditions to be specified	36
19.7.2	Methods of measurement	36
20	Directional characteristics	37
20.1	General	37
20.2	Direct sound field in 3D space	37
20.2.1	Directional transfer function	37
20.2.2	Extrapolated far-field data	37
20.2.3	Parameters of the holographic sound field expansion	38
20.2.4	Extrapolated near-field data	39
20.3	Directional far field characteristics	39
20.3.1	Directional factor	39
20.3.2	Directional gain	41
20.3.3	Directivity factor	41
20.3.4	Directivity index	41
20.4	Acoustic output power	42
20.4.1	Conditions to be specified	42
20.4.2	Methods of measurement	42
20.5	Sound power level	44
20.6	Mean acoustic output power in a frequency band	44
20.6.1	Conditions to be specified	44
20.6.2	Method of measurement	44
20.7	Radiation angle	44
20.7.1	Conditions to be specified	44
20.7.2	Method of measurement	44

20.8	Coverage angle or angles	45
20.8.1	Conditions to be specified	45
20.8.2	Method of measurement	45
20.9	Mean sound pressure level in an acoustical zone	45
20.9.1	General	45
20.9.2	Method of measurement	45
21	Harmonic distortion	46
21.1	General	46
21.2	N^{th} -order harmonic component	46
21.2.1	Conditions to be specified	46
21.2.2	Method of measurement	46
21.3	Total harmonic components	47
21.3.1	Conditions to be specified	47
21.3.2	Method of measurement	47
21.4	Total harmonic distortion	47
21.4.1	Conditions to be specified	47
21.4.2	Method of measurement	47
21.5	Higher-order harmonic distortion	48
21.5.1	Conditions to be specified	48
21.5.2	Method of measurement	48
21.6	Maximum sound pressure level limited by total harmonic distortion	49
21.6.1	Conditions to be specified	49
21.6.2	Method of measurement	49
21.7	N^{th} -order equivalent input harmonic distortion component	50
21.7.1	Conditions to be specified	50
21.7.2	Method of measurement	50
21.8	Equivalent input total harmonic distortion	51
21.8.1	Conditions to be specified	51
21.8.2	Method of measurement	51
22	Two-tone distortion	52
22.1	Variation of excitation frequencies	52
22.2	Modulation distortion	52
22.2.1	Conditions to be specified	52
22.2.2	Method of measurement	52
22.3	Amplitude modulation distortion	53
22.3.1	Conditions to be specified	53
22.3.2	Method of measurement	54
23	Multi-tone distortion	54
23.1	Conditions to be specified	54
23.2	Method of measurement	55
24	Impulsive distortion	55
24.1	Impulsive distortion level	55
24.1.1	Conditions to be specified	55
24.1.2	Method of measurement	56
24.2	Maximum impulsive distortion ratio	56
24.2.1	Conditions to be specified	56
24.2.2	Method of measurement	56

24.3	Mean impulsive distortion level	57
24.3.1	Conditions to be specified.....	57
24.3.2	Method of measurement	57
24.4	Crest factor of impulsive distortion	57
24.4.1	Conditions to be specified.....	57
24.4.2	Method of measurement	57
25	Stray magnetic fields	58
25.1	General.....	58
25.2	Static component	58
25.2.1	Characteristic to be specified.....	58
25.2.2	Method of measurement	58
25.3	Dynamic components.....	59
25.3.1	Characteristics to be specified	59
25.3.2	Method of measurement	59
Annex A (informative)	Uncertainty analysis	60
Annex B (normative)	Transducer mounting	62
B.1	Standard baffle	62
B.2	Standard measuring enclosures	64
B.2.1	General	64
B.2.2	Type A.....	64
B.2.3	Type B.....	64
Annex C (normative)	Simulated programme signal.....	66
Annex D (informative)	Rating the maximum input and output values	68
Annex E (informative)	Spherical wave expansion	70
E.1	Coefficients of spherical wave expansion	70
E.2	Directional factor.....	70
E.3	Directivity factor.....	71
E.4	Acoustic output power.....	71
Annex F (informative)	Non-linearity	72
F.1	Equivalent harmonic input distortion.....	72
F.2	Two-tone intermodulation.....	72
F.3	Signal distortion generated in audio systems	73
Annex G (informative)	Stray magnetic field	75
Bibliography.....		76
Figure 1	– Rated conditions used to describe the position of the DUT in the coordinate system.....	18
Figure 2	– Recommended position and orientation of the DUT	19
Figure 3	– Valid region of expansion of the sound pressure $p(r)$ at the observation point r at the distance $r > a$	39
Figure 4	– Measurement of the distortion generated by a multi-tone stimulus.....	55
Figure 5	– Measurement of impulsive distortion	56
Figure A.1	– Relationship between tolerance limits, corresponding acceptance intervals and the maximum permitted uncertainty of measurement, U_{MAX}	60
Figure B.1	– Standard baffle, dimensions.....	62
Figure B.2	– Standard baffle with chamfer	63
Figure B.3	– Standard baffle with sub-baffle.....	63

Figure B.4 – Standard measuring enclosure type A (net volume is about 600 l)	64
Figure B.5 – Standard measuring enclosure type B (net volume is about 450 l)	65
Figure C.1 – Block diagram of test setup for generating the simulated noise signal used for testing passive loudspeaker systems comprising a network filter	66
Figure F.1 – Signal flow chart of the electro-acoustical system	72
Figure F.2 – Variation of the frequencies of the two-tone stimulus in the intermodulation measurement	73
Figure F.3 – Generation of the signal distortion in audio systems	73
Figure G.1 – Measuring apparatus for stray magnetic field	75
Table A.1 – Example uncertainty budget – acoustical loudspeaker evaluation	61
Table C.1 – Power spectrum of simulated programme signal in 1/3 octave bands rated	67

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SOUND SYSTEM EQUIPMENT –**Part 21: Acoustical (output-based) measurements****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.

International Standard IEC 60268-21 has been prepared by IEC technical committee 100: Audio, video and multimedia systems and equipment.

This bilingual version (2019-03) corresponds to the monolingual English version, published in 2018-11.

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

CDV	Report on voting
100/2957/CDV	100/3019/RVC

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts in the IEC 60628, published under the general title *Sound system equipment*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

INTRODUCTION

Loudspeakers, headphones and other actuators have become more versatile and, as a result, new measurement techniques are required to evaluate these systems. The following is a list of examples where new measurement techniques are required:

- Limited access to the electrical terminals of the transducer
The higher integration of electrical, acoustical and mechanical elements limit the access to the electrical terminals of the transducer.
- Analogue or digital audio input signals
Audio inputs can accept analogue or digital signals in various formats.
- Latency and other kinds of distortion associated with digital signal processing
Digital signal processing is used to correct the transfer behaviour of the passive system and to generate a desired sound output and as a result, latency and other kinds of distortion not found in analogue equipment can be generated.
- Excessive equalization
Excessive equalization can force the transducer to operate in the large signal domain causing thermal and nonlinear effects.
- Active protection
Active protection attenuates the input signal to prevent a mechanical and thermal overload of the transducer and other components.
- Other transducer principles
Although most loudspeaker systems use a moving coil in an electro-dynamical transducer, there is a need to expand the application to electro-static, electro-magnetic or any other transduction principles.
- Other mechanical and acoustical elements
To improve sound radiation, vented enclosures, sealed enclosures, passive radiators, horns, wave guides, flat panels, and other mechanical and acoustical elements are implemented.
- Impulsive distortions
Defects in manufacturing (e.g. voice coil rubbing) or operating under overload conditions can create impulsive distortions, which have a high impact on perceived sound quality but cannot be detected by conventional measurements (e.g. total harmonic distortion).
- Directional characteristics and complex near field properties
The comprehensive evaluation of professional equipment, including directional characteristics, can be realized by considering the complex near-field properties as a supplement to the existing far-field measurement techniques. In addition, devices intended for use in the near field, such as hand-held personal audio devices (e.g. laptops, tablets, smart phones) and other portable sound systems, need to be evaluated in a manner appropriate to their intended use.

SOUND SYSTEM EQUIPMENT –

Part 21: Acoustical (output-based) measurements

1 Scope

This part of IEC 60268 specifies an acoustical measurement method that applies to electro-acoustical transducers and passive and active sound systems, such as loudspeakers, TV-sets, multi-media devices, personal portable audio devices, automotive sound systems and professional equipment. The device under test (DUT) can be comprised of electrical components performing analogue and digital signal processing prior to the passive actuators performing a transduction of the electrical input into an acoustical output signal. This document describes only physical measurements that assess the transfer behaviour of the DUT between an arbitrary analogue or digital input signal and the acoustical output at any point in the near and far field of the system. This includes operating the DUT in both the small and large signal domains. The influence of the acoustical boundary conditions of the target application (e.g. car interior) can also be considered in the physical evaluation of the sound system. This document does not assess the perception and cognitive evaluation of the reproduced sound and the impact of perceived sound quality.

NOTE Some measurement methods defined in this document can be applied to headphones, headsets, earphones and earsets in accordance with [1]¹. This document does not apply to microphones and other sensors. This document does not require access to the state variables (voltage, current) at the electrical terminals of the transducer. Sensitivity, electric input power and other characteristics based on the electrical impedance will be described in a separate future standard document, IEC 60268-22, dedicated to electrical and mechanical measurements.

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 60263, *Scales and sizes for plotting frequency characteristics and polar diagrams*

IEC 60268-1, *Sound system equipment – Part 1: General*

IEC 60268-2:1987, *Sound system equipment – Part 2: Explanation of general terms and calculation methods*

IEC 61094-4, *Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones*

IEC 61260-1, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters – Part 1: Specifications*

ISO 3, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 3741:2010, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation test rooms*

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

ISO 3744, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*

ISO 3745, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms*

CTA 2034-A, *Standard Method of Measurement for In-Home Loudspeakers*, Consumer Technology Association (Formerly CEA), 02/01/2015

CTA 2010-B, *Standard Method of Measurement for Powered Subwoofers*, standard by Consumer Technology Association (Formerly CEA), 11/28/2014

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.2 Abbreviated terms

DUT device under test

4 Type description

The type description shall be provided by the manufacturer, including the following information:

- type, principles and number of the transducers used in the loudspeaker system;
- acoustical loading (e.g. enclosure, horn, bass reflex, column, line array);
- power amplification;
- DSP processing (e.g. equalizer, active protection).

5 Physical characteristics

5.1 Marking of terminals and controls

The terminals and controls shall be marked in accordance with IEC 60268-1 and IEC 60268-2.

5.2 Dimensions

The outer dimensions of the DUT shall be specified.

5.3 Mass

The total mass of the DUT when ready for use shall be specified.

5.4 Connectors and cable assemblies

Cable assemblies and connectors shall be in accordance with IEC 60268-11 and IEC 60268-12.

NOTE In some circumstances, the connectors that are currently standardized are unsuitable and the use of other types is unavoidable.

6 Design data

Further design data shall be specified as additional information such as:

- type of transducer principle;
- number of transducers (drive units);
- digital processing of the audio signal (equalization, linearization, active protection).

7 Conditions

7.1 Rated conditions

For convenience, this document specifies how sound system equipment shall be set up for measurement. Normal measuring conditions are defined in this document. To obtain the actual conditions for measurement, some values (known as "rated conditions") shall be taken from the manufacturer's specification.

These rated conditions are not subject to measurement, but they constitute the basis for performing the measurements to determine the other characteristics.

The following rated conditions are of this type, and shall be stated by the manufacturer:

- rated maximum sound pressure output or maximum input value;
- rated frequency range;
- geometrical conditions as per 10.1;
- ambient conditions as per Clause 15.

7.2 Climatic conditions

IEC 60268-1 states that tests should be carried out in the following environment in order to prevent the influence of temperature and humidity that can affect the properties of the drive unit suspensions [2]:

- ambient temperature T_{norm} : 15 °C to 35 °C;
- relative humidity: 25 % to 75 %;
- air pressure: 86 kPa to 106 kPa.

7.3 Normal measuring conditions

The DUT shall be understood to be under normal measuring conditions if all the following conditions are defined:

- a) The DUT to be measured is mounted in accordance with Clause 13;
- b) The acoustical environment is specified and selected from those given in Clause 9;
- c) Unwanted acoustical signals, electrical signals, and noise generated by other sources shall be kept at the lowest levels possible because their presence may obscure low-level signals. Data related to signals, which are less than 20 dB above the noise level in the frequency band being considered, shall be discarded or marked as corrupted by noise;

- d) The DUT is positioned with respect to the measuring microphone and the walls in accordance with Clause 10;
- e) The DUT is acclimatized to the ambient condition in accordance with IEC 60268-1 or the DUT has a defined working temperature that is typical for the target application and determined by measuring the compression in accordance with 19.4;

NOTE The influence of the ambient atmospheric condition on acoustic measurements is discussed in greater detail in [3].

- f) Additional cooling periods are required between successive tests if compression $C > 0,5$ dB in accordance with 19.4;
- g) The DUT is supplied with a test signal with specified properties (spectrum, duration, etc.) in accordance with Clause 8 at a specified RMS input value $\tilde{u}$ for the rated frequency range in accordance with Clause 16;
- h) Attenuators, equalizers, dynamics or any other active control elements, shall be set to their "normal" position as stated by the manufacturer. If other positions are chosen, for example, those providing a maximally flat frequency response or minimum attenuation, they shall be specified;
- i) Measuring equipment suitable for determining the wanted characteristics is connected in accordance with Clause 11.

8 Test signals

8.1 General

Some measurements can be performed by using any audio signal $x(t)$ as an input signal (stimulus) applied to the electro-acoustical device under test (DUT) while other measurement techniques use the test signals outlined in 8.2 to 8.9.

8.2 Sinusoidal chirp

The transient sinusoidal chirp (gliding tone, sweep) is defined as

$$x_c(t) = \sqrt{2}A(f(t))\cos(2\pi f(t)t)$$

with the amplitude $A(f(t))$ depending on the instantaneous frequency

$$f(t) = f_{\text{start}} 2^{\beta t} \quad 0 \leq t \leq T_s$$

varying logarithmically with time from the starting frequency f_{start} to the end frequency f_{end} during sweep length T_s , which is $0,2 \text{ s} < T_s < 10 \text{ s}$ typically. The sweep rate parameter

$$\beta = \frac{1}{T_s} \log_2 \left(\frac{f_{\text{end}}}{f_{\text{start}}} \right)$$

describes the time required for doubling the instantaneous frequency.

A constant value can be applied to the amplitude $A(f(t))$ but an amplitude varying with frequency can be used to protect the DUT in particular frequency bands. Ultra-fast measurements, as sometimes required in end-of-line testing, require other chirp signals where also the sweep rate $\beta(f)$ of the instantaneous sinusoidal signal varies with frequency f . The varying rate profile can be used to realize a desired power density spectrum of the stimulus and provide sufficient accuracy for the frequency band of interest and a desired peak value of the signal $x_c(t)$.

8.3 Steady-state single-tone signal

The electro-acoustical system is excited by a single tone

$$x_s(t) = \sqrt{2} \cos(2\pi f_1 t) \quad 0 \leq t \leq T_P + T_M = \frac{N_P + N_M}{f_1}$$

of defined frequency f_1 . The pre-excitation time $T_P = N_P/f_1$ corresponding with a number of periods $N_P > 5$ is required to generate the steady-state condition of the electro-acoustical system. The measurement time

$$T_M = \frac{N_M}{f_1}$$

with a number of periods $N_M \geq 1$ is recommended for temporal averaging and time-discrete signal processing.

8.4 Steady-state two-tone signal

The electro-acoustical system is excited by two tones

$$x_t(t) = \sqrt{\frac{2}{A_1^2 + A_2^2}} (A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)) \quad 0 \leq t \leq (T_P + T_M)$$

of defined frequencies $f_1 < f_2$ and amplitude scaling A_1 and A_2 . The pre-excitation time $T_P = N_P/f_1$ corresponding with a minimal number of repetitions $N_P > 5$ is required to generate the steady-state condition of the DUT. The measurement time

$$T_M = \frac{N_M}{f_1 f_2} \text{ 1Hz}$$

corresponding with a given number of repetitions $N_M \geq 1$ is comprised of an integer number of periods of both tones. This is recommended for temporal averaging and time-discrete signal processing.

8.5 Sparse multi-tone complex

The multi-tone complex defined by

$$x_m(t) = \sqrt{\frac{2}{\sum_{i=0}^N A(f_i)^2}} \sum_{i=0}^N A(f_i) \cos(2\pi f_i t + \varphi_i) \quad 0 < t \leq T_P + T_M$$

comprises a multitude of $(N + 1)$ sinusoidal tones with amplitude $A(f_i)$ at logarithmically spaced frequencies

$$f_i = f_b \text{ int}\left(T \cdot f_0 \cdot 2^{i/R}\right) \quad \text{with } i = 0, \dots, N$$

between the lowest tone f_0 and the highest tone f_N at multiples of the base frequency f_b . The base frequency f_b defined by

$$f_b = \frac{1}{T} = \frac{f_s}{N_{FT}}$$

corresponds to the minimal length T of the multi-tone complex, sampling frequency f_s and the size N_{FT} of the Fourier transform (DFT or FFT) to avoid a smearing of the fundamental tones over multiple frequency bins.

The resolution parameter R describes the number of tones per octave. The tones have a pseudo-random phase

$$\phi_i = \frac{2\pi}{m} n_i \quad \text{for } i = 0, \dots, N$$

with

$$n_i = (an_{i-1} + c) \bmod_m \quad \text{for } i = 1, \dots, N$$

generating a deterministic waveform of the stimulus [4].

NOTE The phases of the low-frequency tones determine the waveform of the voice coil displacement, which has a high impact on the nonlinear distortion generated by motor and suspension nonlinearities.

The modulus parameter m is usually defined by the digital word size used. The other free parameters a , c and the start value n_0 (seed) shall be positive and smaller than m . Modifying these parameters affects the randomness of the generated phases and thus the crest factor of the resulting time signal. The crest factor may be optimized for a specific frequency range, signal length and resolution. Reasonable default values are $a = 843\,314\,861$, $c = 453\,816\,693$, $m = 2^{31}$ and $n_0 = 0$. If other parameters are used, they shall be stated.

The modulo computation shall be done exactly with no round-off error. For the given parameters, this can be achieved by using data type 32-bit unsigned integer.

The pre-excitation time T_p with $0,5 T < T_p < T$ is required to ensure steady-state condition of the electro-acoustical system under test. The measurement time $T_M = N_M T$ with an integer number of repetitions $N_M \geq 1$ is recommended for temporal averaging and Fourier analysis.

8.6 Broadband noise signal

As defined in IEC 60268-2:1987, 1.4.

8.7 Narrow-band noise signal

As defined in IEC 60268-2:1987, 1.4.

8.8 Hann-burst signal

The Hann-burst signal,

$$x_b(t) = \begin{cases} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi f_0 t}{6,5}\right) \frac{\sin(2\pi f_0 t)}{2} \right) & \text{for } 0 \leq t \leq 6,5 / f_0 \\ 0 & \text{, elsewhere} \end{cases}$$

is defined as the time product between a continuous sine wave of frequency f_0 and an Hann window of 6,5 cycles in length, generating a bandwidth of one third of an octave [5].

8.9 Impulsive signal

As defined in IEC 60268-2.

9 Acoustical environment

9.1 General

Acoustical measurements shall be made under one of the conditions in the following subclauses. The acoustical environment used for testing shall be stated.

9.2 Free-field conditions

Acoustical conditions that approach those of free space may be used. Any environment shall be considered satisfactory when the reflected sound components are sufficiently suppressed to ensure an accuracy of $\pm 0,5$ dB and $\pm 10^\circ$ in the measured sound pressure amplitude and phase values at the specified frequency, respectively. If the environment (e.g. anechoic room at low frequencies) does not fulfil these free-field conditions over the rated frequency range of the measurement, the manufacturer shall state the valid frequency range.

The amplitude response may be corrected in accordance with 19.5 if the free-field conditions are not fulfilled. The correction applied, if any, shall be stated.

9.3 Half-space, free-field conditions

Acoustical conditions in which the free field, according to 9.2, exists in a half-space may be used [6]. These conditions shall be satisfactorily met with a reflecting plane of sufficient size. Reflections of the radiated sound on other reflecting surfaces (e.g. walls) shall be sufficiently suppressed to ensure an accuracy of $\pm 0,5$ dB and $\pm 10^\circ$ in the measured sound pressure amplitude and phase values at the specified frequency. If the environment (for example, anechoic room at low frequencies) does not fulfil these free-field conditions over the entire rated frequency range of the measurement, the manufacturer shall state the valid frequency range.

9.4 Simulated free-field conditions

The acoustical conditions of any environment (e.g. non-anechoic room) shall be satisfactory if the direct sound radiated by the DUT is separated from the room reflections by using measurement techniques such as gating of the impulse response [7], wave separation [8], or acoustical holography [9]. These measurement techniques shall ensure an accuracy of $\pm 0,5$ dB and $\pm 10^\circ$ in the measured sound pressure amplitude and phase values at the specified frequency. The frequency resolution $\Delta f = 1/T$, where T is the effective or truncated length of the impulse response where the simulated free-field conditions are fulfilled, and any other limitations that impair the measurement results, shall be stated.

NOTE The gating technique truncates the impulse response, which reduces frequency resolution. Extending the length of the truncated impulse response by zero padding increases resolution virtually but provides no additional information.

9.5 Half-space simulated free-field conditions

Acoustical conditions, in accordance with 9.4, where the device under test is mounted in a reflecting plane of sufficient size.

9.6 Diffuse sound field conditions

Diffuse sound field conditions for measurements using pink noise and 1/3 octave band analysis, as defined and specified in ISO 3741, may be used. The lower limiting frequency shall be determined as specified in ISO 3741:2010, Appendix A.

9.7 Target application conditions

Acoustical conditions that correspond with the final target application of the device under test (for example, sound system mounted in a car).

10 Positioning of the DUT

10.1 Rated geometrical conditions

10.1.1 General

As illustrated in Figure 1, the position and the orientation of the DUT shall be stated using the reference plane with normal vector $\mathbf{n}_{\text{ref}}$, the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$, the reference axis and the orientation vector $\mathbf{o}_{\text{ref}}$. In addition, the evaluation point and the evaluation distance shall be stated as illustrated in Figure 2.

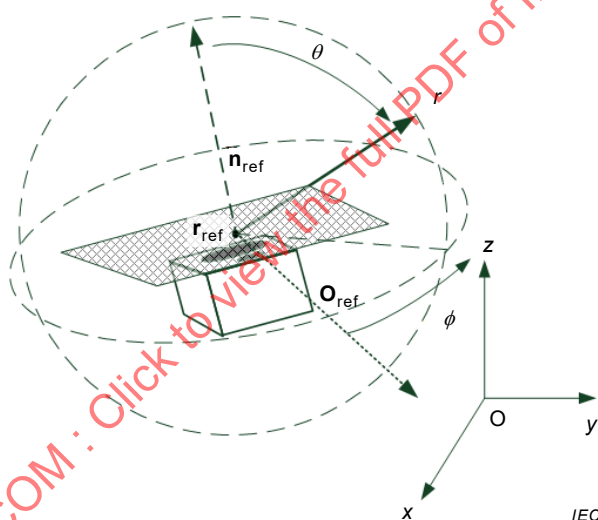


Figure 1 – Rated conditions used to describe the position of the DUT in the coordinate system

10.1.2 Reference plane and normal vector

The reference plane with the normal vector $\mathbf{n}_{\text{ref}}$ shall be used to define the reference axis and the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$. The normal vector $\mathbf{n}_{\text{ref}}$ also defines the polar angle $\theta = 0$ in spherical coordinates.

NOTE For symmetrical structures, the reference plane is usually parallel to the radiating surface or to a plane defining the front of the DUT. For asymmetrical structures, the reference plane can be better indicated by means of a diagram.

10.1.3 Reference point

A point on the reference plane. The position of the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ shall be specified by the manufacturer.

NOTE For symmetrical structures, reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ is usually the point of axial symmetry of the radiator within the reference plane; for asymmetrical structures, the reference point can be better indicated by means of a diagram.

For directional measurements performing a rotation of the DUT, the reference point is identical to the point of rotation (POR) and usually chosen close to or identical to the centre of gravity (COG) of the DUT.

10.1.4 Reference axis

The line that passes through the reference plane at the reference point; its direction shall be specified by the manufacturer. The reference axis shall be used as the zero reference axis for directional and frequency response measurements.

10.1.5 Orientation vector

The orientation vector $\mathbf{o}_{\text{ref}}$ defines the orientation of the sound system within the reference plane and the direction of azimuthal angle $\phi = 0$ in spherical coordinates. The preferred orientation vector places the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ at the origin O of the coordinate system, pointing the normal vector $\mathbf{n}_{\text{ref}}$ of the reference plane into the z -direction where the polar angle $\theta = 0$ and turning the audio system in such a way that the orientation vector $\mathbf{o}_{\text{ref}}$ (e.g. top of the enclosure) points into the x -direction as illustrated in Figure 2. By doing this, the relationship between spherical and Cartesian coordinates can be expressed as

$$\mathbf{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z = r \cos\phi \sin\theta \vec{e}_x + r \sin\phi \sin\theta \vec{e}_y + r \cos\theta \vec{e}_z$$

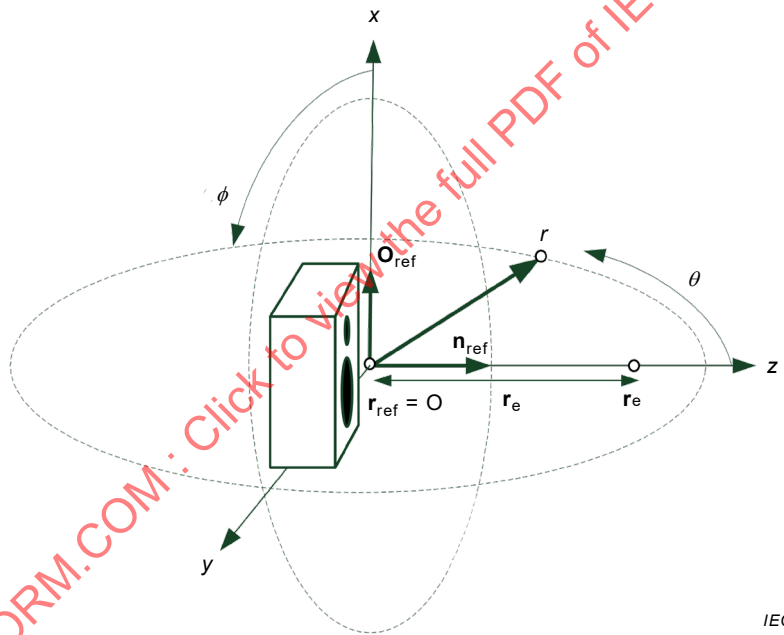


Figure 2 – Recommended position and orientation of the DUT

10.1.6 Evaluation point

The evaluation point $\mathbf{r}_e$ specified by the manufacturer is the position where the rated maximum sound pressure level SPL_{max} is determined. The evaluation point $\mathbf{r}_e$ shall be on the reference axis.

The evaluation point is a particular measurement point, which is required for the calibration of the maximum input value u_{max} and the maximum output level SPL_{max} in accordance with Clause 17 and Clause 18.

10.1.7 Evaluation distance

The evaluation distance $r_e = |\mathbf{r}_e - \mathbf{r}_{\text{ref}}|$ is the distance between the evaluation point $\mathbf{r}_e$ and the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$.

NOTE The evaluation distance r_e depends on the size of the DUT, typically 1 m but shorter for micro-speakers and larger for line arrays.

Ideally, the evaluation distance places the evaluation point in the far field of the DUT (see 10.2.1).

10.2 Measuring distance between DUT and microphone

10.2.1 Far-field conditions

Measurements under free-field and half-space conditions shall ideally be carried out in the far field of the DUT at a distance $r > r_{\text{far}}$ where the sound pressure decreases with the distance r according to the $1/r$ law. The location in the far field is determined when the following three conditions [10] are fulfilled:

- 1) the distance r is much larger than the geometrical dimension d of the DUT,
- 2) the distance r is much larger than the wavelength λ ,
- 3) the ratio between distance r and dimension d is much larger than the ratio between dimension d and wavelength λ ($r/d \gg d/\lambda$).

However, in practice, limitations of the measuring environment (e.g. room size [9]) and the effects of the background noise set an upper limit to the distance r that can be used.

Measurements under simulated free-field conditions shall be made with the microphone and DUT positioned within the measuring environment so that the time required for the unwanted first reflection to reach the microphone is maximized.

If the measurement space is an anechoic chamber, attention shall be paid to reflections from wedge tips, flooring, DUT supports and microphone supports.

Errors from these sources shall not exceed $\pm 0,5$ dB and $\pm 10^\circ$ in the measured sound pressure amplitude and phase at any frequency within the frequency range of measurement.

10.2.2 Near-field conditions

10.2.2.1 General

Except under special conditions as per 10.2.2.2, the sound pressure in the near field can only be measured by using holographic techniques [9]. In addition, valid far-field information can only be calculated from near-field data by using holographic methods.

The advantages of measurements in the near field [11] are as follows:

- maximize time available before first reflections;
- maximize the direct sound pressure.

The main advantage of holographic techniques is to allow large DUTs to be measured in small rooms [4].

10.2.2.2 Extrapolation technique for monopoles

The extrapolation technique developed by Keele [12] provides reliable far field information at low frequencies based on a single near-field measurement if the woofers are mounted in a sealed enclosure and the sound field is omnidirectional.

10.2.3 Diffuse field conditions

The position and orientation of the DUT and microphone with respect to the walls shall be described by means of a diagram appended to the measurement results.

An arrangement for the simultaneous movement of the DUT and the microphone is permitted for the evaluation of the power delivered by the loudspeaker in accordance with the method described in 20.4. The microphone system and nearest microphone position shall meet the requirements of ISO 3741.

10.2.4 Target application condition

The position and orientation of the DUT and microphone with respect to the target environment (e.g. car interior, artificial ear) shall be described by means of a diagram appended to the measurement results.

The acoustical properties of the boundaries shall be described by using area-averaged random-incidence energy absorption coefficients [13].

11 Measurement equipment and test results

Measurements in free-field conditions shall be made using a WS2F or WS3F free-field microphone as per IEC 61094-4. For measurements under diffuse-field conditions, a WS3P pressure microphone or a WS2P pressure microphone with diffuse field correction shall be used.

Graphical results shall conform to one of the preferred aspect ratios in IEC 60263.

Frequency data, if provided in addition to the graphs, shall be at the R40 preferred frequencies specified in ISO 3, unless otherwise stated.

12 Accuracy of the acoustical measurement

12.1 General

Probable error sources in both the instrumentation and measuring environment shall be identified, quantified and their contribution specified. Uncertainties in the position and calibration of the microphone shall be stated (see 12.2). This information shall be included with the test report.

NOTE Techniques for quantifying acoustic measurement tolerances are discussed in [14]. Working with two microphones located at different positions (or distances) can be used to check the possible errors in the measurement setup.

12.2 Measurement uncertainty

The measurement uncertainty is composed of several factors:

- uncertainty of the test equipment used, such as sound generator, level meters, measuring microphones, etc.;
- tolerances of the mechanical coupling or mounting;
- the sound field or test environment;
- positioning the DUT in the test space.

Given knowledge of the aforementioned factors, the measurement uncertainty can, in general, be determined [15]. For more information, see Annex A.

NOTE It is good practice to validate the measurement uncertainty by comparing measurement results with those from an accredited test laboratory. For the evaluation of the sound pressure output generated by loudspeakers, Annex A gives an example of an uncertainty budget calculation. For additional information, see ISO/IEC Guide 98-3 [15].

Theoretically, measurement error tolerances only apply to the performance of a device under test when the measurement equipment is 100 % accurate. To ensure that DUT performance is within a specified tolerance when using imperfect real world measurement equipment, the inside acceptance interval on the measured value shall be less than the tolerance specified by the maximum permitted uncertainty for that measurement. This may apply for outgoing inspection applications. To confirm that DUT performance is outside the specified tolerance under real-world conditions, the outside acceptance interval on the measured value shall be greater than the tolerance specified by the maximum permitted uncertainty for that measurement. This may apply for incoming QC/QA applications. The maximum permitted uncertainty is applied to each tolerance limit to obtain the acceptance interval (see Figure A.1).

13 Mounting of the DUT

13.1 Mounting and acoustic loading of drive units

The performance of the drive unit (transducer) is determined by the properties of the unit itself and its acoustic loading. The acoustic loading depends upon the mounting arrangement, which shall be clearly described in the presentation of the results. Annex B describes ways of mounting the transducer.

One of the following types of mounting shall be used:

- a) Half-space free-field condition generated by mounting the transducer flush with a plane reflecting surface having a diameter d ten times larger than the wavelength λ of the lowest working frequency or lowest frequency specified or rated by the manufacturer. Half-space loading for transducers is preferred.
- b) If this condition cannot be fulfilled for low-frequency transducers (e.g. woofer) in the available anechoic room, the manufacturer shall state the lowest frequency limit where this condition becomes valid. Alternatively, the baffle measurement or a room correction curve shall be used.
- c) A standard baffle with a plane front surface that is acoustically reflecting as specified in Clause B.1.
- d) A standard measuring enclosure specified in Clause B.2 (type-A or type-B) generating a defined rear air volume and radiation condition at the front of the transducer.
- e) A test cabinet not in accordance with Clause B.2 (type-A or type-B), generating a defined air load and radiation condition at the front of the transducer may be used for end-of-line testing and relative measurements (see [16]). An additional chamber at the rear side of the transducer can be used to provide additional noise isolation or to consider the influence of the air volume of a sealed box in the target application.
- f) A defined horn, coupler or other kind of wave guide that couples the radiating surface of the transducer to the surrounding sound field.

NOTE Application to headphones, headsets, earphones and earsets is specified in IEC 60268-7.

- g) A plane wave tube.
- h) The transducer may be operated in free air without baffle, enclosure, etc.

13.2 Mounting and acoustic loading of an electro-acoustic system

Electro-acoustic systems are usually measured without any additional baffle. If the manufacturer specifies a special type of mounting for the loudspeaker system, this shall be used for the measurement. The mounting method used shall be specified with the results.

14 Preconditioning

Temporary or permanent changes may take place when a signal generating high displacement is applied to the new DUT for the first time. Sufficient preconditioning shall be performed according to the intended use of DUT in the field (e.g. bandwidth).

NOTE For example, the suspension of a driver is subject to significant changes in its mechanical properties. Likewise, the effects of heating and cooling on the DUT.

The DUT shall be preconditioned before measurements are performed by applying a broadband signal at half the maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ in accordance with Clause 17 for at least one hour (3 h recommended for woofers).

Before proceeding with the measurement, the period of preconditioning shall be followed by a recovery period of at least one hour while ensuring that the temperature of the internal parts is re-acclimatized to the ambient conditions.

15 Rated ambient conditions

15.1 Temperature ranges

15.1.1 Performance limited temperature range

The temperature range over which the variation of the characteristics of the DUT shall not exceed the specified tolerances.

15.1.2 Damage limited temperature range

The temperature range that, if exceeded during operation or storage, may result in permanent changes in the operating characteristics of the DUT.

15.2 Humidity ranges

15.2.1 Relative humidity range

The relative humidity range over which the variation of the characteristics of the DUT shall not exceed the specified tolerances.

15.2.2 Damage limited humidity range

The relative humidity range that, if exceeded during operation or storage, may result in permanent changes in the operating characteristics of the DUT.

16 Rated frequency range

The frequencies f_l and f_u describe the lower and upper limits of the audio band for which the maximum sound pressure of the DUT is rated.

NOTE The rated frequency range corresponds to the intended use of the DUT in the final application and can differ from the DUT's effective frequency range as defined in 19.6.

17 Input signal

17.1 Rated maximum input value

17.1.1 Condition to be specified

The maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ is the RMS value

$$\tilde{u} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u^2(t) dt}$$

of a broadband stimulus $u(t) = a[i]x(t)$ scaled by $a[i]$, which can be applied to the DUT for more than 100 h while keeping measured characteristics within defined tolerances.

The properties of the broadband stimulus $x(t)$, such as the spectral properties, the crest factor and the lower and upper limits f_l and f_u , respectively, of the rated frequency band in accordance with Clause 16, shall be stated by the manufacturer.

The maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ can be stated by the manufacturer for transducers, passive loudspeaker systems and active systems having a single input and a fixed transfer function between the input and evaluation point r_e . The maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ applied to the terminal voltage can be used for end-line testing of the passive transducer if the measuring conditions (e.g. geometry of the test box) are not defined or different. The maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ can be used to evaluate the influence of various measurement conditions, such as acoustic loading, mounting of the driver, etc., on the transfer behaviour of the DUT. In active systems where the maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ depends on the selected input channel, gain control, equalizer and other settings of the signal processing prior to the signal reaching the passive transducer the maximum input value can be determined based on the rated maximum sound pressure level $SPL_{\max}$ in accordance with 18.2.

17.1.2 Direct measurement

The following equipment or equivalent shall be included in the chain of measurement:

- a pink noise generator and or multi-tone generator in accordance with 8.5;

NOTE 1 A DUT intended for full-band audio signals can be tested using a broadband stimulus such as a multi-tone complex with sufficient resolution $R = 10$, a pink-noise signal or any noise like signal such as the simulated programme signal in accordance with Annex C. For a DUT with a small usable bandwidth in the target application (e.g. subwoofer), a sufficiently good approximation of the "broadband" signal can be a sinusoidal signal, a Hann burst signal or a narrow band noise in accordance with Clause 8.

- an optional weighting network to obtain the noise signal in accordance with Annex C;
- an optional clipping network to realize a defined crest factor;
- an optional power amplifier for passive electro-acoustical DUT.

The clipped noise at the terminals of the loudspeaker under test shall have a frequency distribution as specified in Annex C and a peak-to-RMS ratio (crest factor) between 1,8 and 2,2. The amplitude of the frequency response between the input of the optional power amplifier and the voltage at the input terminals of a passive DUT shall be constant to within $\pm 0,5$ dB in the frequency range 20 Hz to 20 kHz. The high-pass filter in the power amplifier may increase the crest factor of the transferred noise signal. The optional power amplifier shall have an output impedance not greater than 1/3 of the rated impedance of the passive DUT. The amplifier shall be capable of supplying the passive DUT with a peak sinusoidal voltage of at least twice the RMS voltage of the test noise without clipping.

- a) The manufacturer defines a test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ as a candidate for the rated maximum input value $\tilde{u}_{\max}$. The chosen test value considers the intended application and behaviour of the DUT (e.g. permissible heating and maximum mechanical excursion of the voice coil) so that damage to the DUT during the following test can be avoided.

NOTE 2 Annex D discusses the considerations and measurements that are required to specify test value $\tilde{u}_{\text{test}}$.

- b) The DUT shall be placed in a room of sufficient size (typically $> 8 \text{ m}^3$) with climatic conditions as specified in 7.2. The size of the room depends on the space required around the DUT to avoid any additional acoustical loading of the DUT and to ensure stable climatic conditions during the test.

- c) The DUT shall be tested under a specified climatic condition for a continuous period of 100 h at the test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ of the input stimulus, which is a broadband stimulus as stated by the manufacturer.

NOTE 3 Since the test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ is constant during the 100 h test, the heating of the DUT will cause thermal compression of the acoustical output. This effect can be evaluated by measuring the compression in accordance with 19.4.

- d) Immediately after the test, the DUT shall be stored under climatic conditions that would normally exist in ordinary rooms or laboratories. Unless otherwise specified, the recovery period shall be 24 h.
- e) At the end of the recovery period, the acoustical characteristics of the DUT are measured. If the measured values are within the tolerances of the values stated in the data sheet, the DUT may be considered to have fulfilled the requirement of this test and the test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ is assigned to the rated maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$.

If the DUT has been damaged during this test, or the measured characteristics are outside the defined tolerances, the test shall be repeated using a new DUT at a reduced input test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ until the rated maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ is determined.

17.1.3 Indirect measurement based on SPL_{max}

- a) To determine the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ based on rated maximum sound-pressure level SPL_{max} , the DUT is placed under normal measurement conditions in accordance with 7.3.
- b) The DUT is excited by a scaled stimulus $u(t) = \alpha[i]x(t)$ as stated by the manufacturer in accordance with 17.1. In the first step of the measurement $I = 0$, a sufficiently low scaling factor $\alpha[0]$ is used to prevent damage to the device under test.
- c) The sound pressure signal $p(t, r_e)$ is measured at the evaluation point r_e and the resulting sound pressure level $SPL[i]$ for the stimulus with RMS value $\tilde{u}[i]$ is calculated for the excitation time $T_s = 1$ s.
- d) After waiting for at least 10 s the scaling factor is adjusted by

$$\alpha[i+1] = \alpha[i] 10^{(SPL_{\text{max}} - SPL[i])/20}$$

and the measurement steps 17.1.2 b) to 17.1.2 d) are repeated until $SPL[i]$ deviates from SPL_{max} by less than 0,1 dB.

The final RMS value $\tilde{u}[i]$ is assigned to the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$.

NOTE In cases where a filter having a bandwidth equal to the rated frequency range is not available, an approximation can be made by dividing this frequency range into n sets of 1/3 octave bands in accordance with IEC 61260-1. The 1/3 octave filters are fed with the broadband stimulus. As a result, the voltage fed to the DUT in each 1/3 octave frequency band is equal to $\tilde{u}/\sqrt{n}$. The sound-pressure level is given by the formula:

$$SPL[i] = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{p_0^2} \sum_{k=1}^n \tilde{p}_k^2 \right)$$

where $\tilde{p}_k$ is the RMS sound pressure value in a given 1/3 octave band and p_0 is the standard reference sound pressure (20 μPa).

17.2 Maximum input level

Expressed in decibels, the maximum input level shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ and a stated reference value.

The RMS value 1 V shall be used as a reference value if the maximum input is expressed in dB(V). The digital full-scale value is used as a reference value if maximum input level is expressed in dB(FS).

18 Sound-pressure output

18.1 Rated maximum sound pressure

18.1.1 Conditions to be specified

The manufacturer specifies the rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e)$ defined as the RMS value

$$\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e) = \left(\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p^2(t, \mathbf{r}_e) dt \right)^{1/2}$$

of the measured sound pressure signal $p(t, \mathbf{r}_e)$ at the specified evaluation point $\mathbf{r}_e$ under normal measurement conditions, in accordance with 7.3, using a specified broadband stimulus limited by the frequencies f_l and f_u of the rated frequency band within the excitation time $T_s = 1$ s.

The properties of the broadband stimulus $x(t)$, such as the spectral properties, the crest factor and the lower and upper limits of the rated frequency band, shall be stated by the manufacturer.

NOTE The rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e)$ can be determined either by a direct measurement or indirectly derived from the rated maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ in accordance with 17.1.

18.1.2 Direct measurement

The following equipment or equivalent shall be included in the chain of measurement:

- a pink-noise generator and or multi-tone generator in accordance with 8.5;

NOTE 1 A DUT intended for full-band audio signals can be tested using a broad-band stimulus such as a multi-tone complex with sufficient resolution $R = 10$, a pink noise signal or any noise like signal such as the simulated programme signal in accordance with Annex C. For a DUT with a small usable bandwidth in the target application (e.g. subwoofer), a sufficiently good approximation of the "broadband" signal can be a sinusoidal signal, a Hann burst signal or a narrow band noise in accordance with Clause 8.

- an optional weighting network to obtain the noise signal in accordance with Annex C;
- an optional clipping network to realize a defined crest factor;
- an optional power amplifier for passive electro-acoustical DUT.

The amplitude of the frequency response between the input of the optional power amplifier and the voltage at the input terminals of a passive DUT shall be constant to within $\pm 0,5$ dB in the frequency range 20 Hz to 20 kHz. The clipped noise at the terminals of the loudspeaker under test shall have a frequency distribution as specified in Annex C and a peak-to-RMS ratio between 1,8 and 2,2. The optional power amplifier shall have an output impedance not greater than 1/3 of the rated impedance of the passive DUT. The amplifier shall be capable of supplying the passive DUT with a peak sinusoidal voltage of at least twice the RMS voltage of the test noise without clipping.

- a) The manufacturer defines a test value $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ as a candidate for the rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e)$, in the rated frequency band. The chosen test value considers the intended application and behaviour of the DUT (e.g. permissible heating and maximum mechanical excursion of the voice coil) so that damage to the DUT during the following test can be avoided.

NOTE 2 Annex D discusses the considerations and measurements which are required to specify test value $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$.

- b) The DUT shall be placed in an acoustical environment, in accordance with Clause 9, and the test value $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ shall be generated at the specified evaluation point $\mathbf{r}_e$ by adjusting the amplitude of the stimulus. This measurement shall use the broadband stimulus as stated by the manufacturer's test value in 18.1.1 and an excitation time of $T_s = 1$ s with a sufficient break of at least 10 s between successive measurements to avoid heating of the DUT and thermal compression of the output amplitude. The RMS value of the input stimulus generating the test value $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ is used as a test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ for further testing.
- c) The DUT shall be placed in a room of sufficient size (typically $> 8 \text{ m}^3$) with climatic conditions as specified in 7.2. The size of the room depends on the space required around the DUT to avoid any additional acoustical loading of the DUT and to ensure stable climatic conditions during the test.
- d) The DUT shall be tested under a specified climatic condition for a continuous period of 100 h at the test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ of the input stimulus.

NOTE 3 Since the test value $\tilde{u}_{\text{test}}$ is constant during the 100 h test, the heating of the DUT causes thermal compression of the acoustical output and the sound pressure level falls below the rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$. This effect can be evaluated by measuring the compression in accordance with 19.4.

- e) Immediately after the test, the DUT shall be stored under climatic conditions that would normally exist in ordinary rooms or laboratories. Unless otherwise specified, the recovery period shall be 24 h.
- f) At the end of the recovery period, the electrical, mechanical and acoustical characteristics of the DUT are measured. If the measured values are within the tolerances of the values stated in the data sheet, the DUT may be considered to have fulfilled the requirement of this test and the test value $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ is assigned to the rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$. The permissible shift of the resonant frequency shall be defined in the data sheet.

If the DUT has been damaged during this test or if the measured characteristics are outside the defined tolerances, the test shall be repeated using a new DUT at a reduced test value $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ until the rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$ is determined.

18.1.3 Indirect measurement based on maximum input value

- a) The DUT shall be placed in an acoustical environment, in accordance with Clause 9, and the RMS value of the input stimulus is adjusted to the rated maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ of the stimulus in accordance with 17.1.
- b) The RMS value of the sound pressure $\tilde{p}(\mathbf{r}_e)$ shall be measured at the specified evaluation point $\mathbf{r}_e$ and assigned to the rated maximum sound pressure $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$.

18.2 Rated maximum sound-pressure level

Expressed in decibels, the rated maximum sound pressure level SPL_{max} in a rated frequency band shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the RMS sound pressure value $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$, measured in accordance with 18.1, and the standard reference sound pressure (20 μPa).

18.3 Short term maximum sound pressure level

18.3.1 Conditions to be specified

The short term maximum sound pressure level SPL_{short} is defined as the level

$$SPL_{\text{short}}(\mathbf{r}_e) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_s p_0^2} \int_0^{T_s} p^2(t, \mathbf{r}_e) dt \right)$$

of the RMS sound pressure signal $p(t)$ at the specified evaluation point $\mathbf{r}_e$ referred to the reference sound pressure ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) using a sequence of gated broadband stimulus comprised of an excitation period of $T_s = 1 \text{ s}$ followed by a cooling interval of $T_{\text{off}} = 1 \text{ min}$ repeated 60 times. A multi-tone complex signal with sufficient resolution $R = 10$ or a pink-noise signal or any noise-like signal, such as the simulated programme signal in accordance with Annex C, may be used as the stimulus. The properties of the broadband stimulus $x(t)$, such as the spectral properties, the crest factor and the lower and upper limits of the rated frequency band, shall be stated.

NOTE The short term maximum sound pressure level SPL_{short} can be larger than the rated value SPL_{max} because the short excitation period $T_s = 1 \text{ s}$ and the cooling interval ($T_{\text{off}} = 1 \text{ min}$) keeps thermal heating and power compression negligible.

18.3.2 Method of measurement

- The manufacturer defines a test value $SPL_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ as a candidate for the short-term maximum sound pressure level $SPL_{\text{short}}(\mathbf{r}_e)$ in the rated frequency band. The test value $SPL_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ considers the intended application and the behaviour of the DUT (e.g. permissible heating and maximum mechanical excursion of the voice coil) so that damage to the DUT during the following test can be avoided.
- The DUT shall be placed in an acoustical environment, in accordance with Clause 9. While measuring the sound pressure at the specified evaluation point $\mathbf{r}_e$, the amplitude of the stimulus is adjusted to obtain a sound pressure equal to the test value specified by the manufacturer in point a) by using an excitation period of $T_s = 1 \text{ s}$ followed by a cooling interval of $T_{\text{off}} = 1 \text{ min}$.
- After the adjustment, the sequence of the defined excitation period and cooling interval shall be repeated 60 times.
- After the test, no signal is supplied to the DUT for a recovery period of 5 min.
- At the end of the recovery period, the electrical, mechanical and acoustical characteristics of the DUT are measured. If the measured values are within the tolerances of the stated values in the data sheet, the DUT may be considered to have fulfilled the requirement of this test, and the test value $SPL_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ is assigned to the rated sound pressure $SPL_{\text{short}}(\mathbf{r}_e)$. A change in the resonance frequency may occur but the acceptability of this change is subject to negotiation, therefore, it shall be stated.

If the DUT has been damaged during this test or the measured characteristics are outside the defined tolerances, the test shall be repeated using a new DUT at a reduced test value $SPL_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ until the short term maximum sound pressure level $SPL_{\text{short}}(\mathbf{r}_e)$ is determined.

18.4 Long term maximum sound pressure level

18.4.1 Conditions to be specified

The long term maximum sound pressure level SPL_{long} is the level

$$SPL_{\text{long}}(\mathbf{r}_e) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_s p_0^2} \int_0^{T_s} p^2(t, \mathbf{r}_e) dt \right)$$

of the RMS value of the sound pressure signal $p(t)$ at the specified evaluation point $\mathbf{r}_e$ referred to the reference sound pressure ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) using a broadband stimulus with an excitation period of $T_s = 1 \text{ min}$ and a cooling interval of $T_{\text{off}} = 2 \text{ min}$.

A multi-tone complex signal with sufficient resolution $R = 10$ or a pink-noise signal or any noise like signal, such as the simulated programme signal in accordance with Annex C, may be used as the stimulus. The properties of the broadband stimulus $x(t)$, such as the spectral properties, the crest factor, the durations of T_s and T_{off} and the lower and upper limits of the rated frequency band, shall be stated by the manufacturer.

NOTE The long term maximum sound pressure level SPL_{long} could be larger than the rated value SPL_{max} because the cooling interval $T_{off} = 2$ min reduces the thermal heating and power compression found in the 100 h test in accordance with 18.1.2.

18.4.2 Method of measurement

- The manufacturer defines a test value $SPL_{test}(r_e)$ as a candidate for the long term maximum sound pressure level $SPL_{long}(r_e)$ in the rated frequency band. The test value $SPL_{test}(r_e)$ considers the intended application and the particularities of the DUT (e.g. permissible heating and maximum mechanical excursion of the voice coil) so that damage to the DUT during the following test can be avoided.
- The DUT shall be placed in an acoustical environment, in accordance with Clause 9. While measuring the sound pressure at the specified evaluation point r_e , the amplitude of the stimulus is adjusted to obtain a sound pressure equal to the test value specified by the manufacturer in 18.4.2 a) by using a excitation period of $T_s = 1$ min followed by a cooling interval of $T_{off} = 2$ min.
- After the adjustment, the sequence of the defined excitation period and cooling interval shall be repeated 10 times.
- After the test, no signal is supplied to the DUT for a recovery period of 1 h.
- At the end of the recovery period, the electrical, mechanical and acoustical characteristics of the DUT are measured. If the measured values are within the tolerances of values stated in the data sheet, the DUT may be considered to have fulfilled the requirement of this test and the test value $SPL_{test}(r_e)$ is assigned to the long-term sound pressure level $SPL_{long}(r_e)$. A change in the resonance frequency may occur but the acceptability of this change is subject to negotiation, therefore, it shall be stated.

If the DUT has been damaged during this test or the measured characteristics are outside the defined tolerances, the test shall be repeated using a new DUT at a reduced test value $SPL_{test}(r_e)$ until the long-term maximum sound pressure level $SPL_{long}(r_e)$ is determined.

18.5 Sound pressure in a stated frequency band

18.5.1 Condition to be specified

The sound pressure $\tilde{p}(r)$ produced by a DUT at a stated measurement point r excited with a band-limited pink-noise signal with a stated RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$.

18.5.2 Method of measurement

- The loudspeaker shall be operated under normal measuring conditions.
If the maximum input value $\tilde{u}_{max}$ is not stated by the manufacturer, this value can be determined by using the rated maximum sound pressure level SPL_{max} in accordance with 18.2.
The bandwidth of a pink-noise signal is limited to the stated frequency limits by using a band-pass filter having slopes of at least 24 dB/octave. The RMS value of the stimulus is adjusted to the stated value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ and applied to the input of the DUT.
- The sound-pressure $\tilde{p}(r)$ shall be measured at the stated measurement point r .
- Any deviations from the conditions stated in 18.5.2 a) and b) shall be stated with the results.

18.6 Sound-pressure level in a stated frequency band

Expressed in decibels, the sound pressure level in a stated frequency band shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the sound pressure $\tilde{p}(r)$ measured in accordance with 18.5 and the standard reference sound pressure (20 μPa).

18.7 Mean sound-pressure in a stated frequency range

18.7.1 Condition to be specified

The square root of the arithmetic mean of the squares of the sound pressure $\tilde{p}_k$ of all $1/n^{\text{th}}$ octave sub-bands with $k = 1, \dots, K$ and $n \geq 3$ filling the stated frequency range.

$1/3^{\text{rd}}$ octave sub-bands with $n = 3$ as defined by IEC 61260-1 shall be used if the upper and lower limits of the stated frequency band correspond to the limits of the $1/3^{\text{rd}}$ octave bands.

18.7.2 Method of measurement

- The measurement shall be made in accordance with 18.5.
- The sound pressure signal $\tilde{p}(r)$ measured at the measurement point r is analyzed by using a set of filters with $1/n^{\text{th}}$ octave bandwidth generating the RMS value of the sound pressure $\tilde{p}_k$ of each sub-band with $k = 1, \dots, K$.
- The mean sound-pressure $\tilde{p}_m$ in the stated frequency range is determined by the formula:

$$\tilde{p}_m = \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\tilde{p}_k)^2 \right]^{1/2}$$

18.8 Mean sound-pressure level in a stated frequency range

Expressed in decibels, twenty times the logarithm of the ratio between $\tilde{p}_m$ in accordance with 18.7 and the standard reference sound-pressure (20 μPa).

19 Frequency response of the fundamental component

19.1 Transfer function

19.1.1 Conditions to be specified

The transfer function $\underline{H}(f, r)$ between the input signal $u(t)$ and the sound pressure output $p(t, r)$ at the measurement point r measured using a broadband stimulus $\tilde{u}(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ scaled by the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ and scaling factor α . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ or the scaling factor α shall be stated.

NOTE The transfer function measured with a high amplitude stimulus can be affected by nonlinear and thermal properties of the DUT.

The linear transfer response shall be measured in the small signal domain by using an attenuated stimulus (scaling factor $\alpha \leq 0,1$) or by performing response measurements at reduced levels until the observed response is unchanged, verifying linear conditions.

19.1.2 Method of measurements

- To assess the nonlinear behaviour of the DUT, the electro-acoustical system is excited by the stimulus $\tilde{u}(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ by using the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ and a stated scaling

factor α . It is recommended to use a sinusoidal chirp signal or multi-tone complex signal in accordance with 8.2 and 8.5.

- b) The sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ is measured at stated measurement point $\mathbf{r}$ and the complex amplitude of the fundamental component $\underline{p}_{\text{fund}}(f, \mathbf{r}) = F\{p(t, \mathbf{r})\}$ with respect to instantaneous frequency f is calculated by using a time-frequency transformation such as the Fourier transform $F\{\}$.
- c) The complex amplitudes of the fundamental component $\underline{u}(f)$ with respect to instantaneous frequency f are determined from stimulus $u(t)$ by using the frequency-time mapping of the chirp $x(t)$.

NOTE 1 The logarithmic frequency-time mapping of the chirp signal can be used to separate the fundamental and harmonic components, see [17].

- d) The complex transfer function is calculated by

$$\underline{H}(f, \mathbf{r}) = \frac{\underline{p}_{\text{fund}}(f, \mathbf{r})}{\underline{u}(f)}$$

providing the magnitude response $|\underline{H}(f, \mathbf{r})|$ and the phase response $\varphi(f, \mathbf{r}) = \arg(\underline{H}(f, \mathbf{r}))$.

- e) The impulse response $h(t, \mathbf{r}) = F^{-1}\{\underline{H}(f, \mathbf{r})\}$ may be calculated by using a frequency-time transformation such as the inverse Fourier transform $F^{-1}\{\}$.

NOTE 2 Time windowing can be applied to the impulse response to suppress reflections from acoustical boundaries (e.g. room walls) and to generate simulated free-field conditions in accordance with 9.4. A corrected complex transfer can be generated by applying a Fourier transform to the windowed impulse response.

- f) The mean group delay $\tau_{\text{mean}}(\mathbf{r})$ may be determined by searching for the maximum of the energy-time curve in the impulse response $h(t, \mathbf{r})$.

NOTE 3 The energy-time curve is the envelope of the impulse response, which can be calculated by using the Hilbert transform. A useful approximation is the log-squared impulse response.

- g) The residual phase

$$\varphi_{\text{res}}(f, \mathbf{r}) = \varphi(f, \mathbf{r}) - 360^\circ f \tau_{\text{mean}}(\mathbf{r})$$

represents the minimum-phase + all pass behaviour of the DUT separated from the phase corresponding to the mean group delay [18].

- h) The unwrapped total phase response

$$\varphi_{\text{un}}(f, \mathbf{r}) = \varphi_{\text{res}}(f, \mathbf{r}) + 360^\circ f \tau_{\text{mean}}(\mathbf{r})$$

is calculated by unwrapping the residual phase response and adding the phase corresponding with the mean group delay.

NOTE 4 Unwrapping is a necessary but ambiguous, noise-sensitive and error-prone process for frequency-discrete phase data (at least in acoustics).

The frequency resolution shall be high enough so that the phase difference between two discrete frequencies does not exceed $\pm 90^\circ$.

- i) The group delay response

$$\tau(f) = -\frac{1}{360^\circ} \frac{d\varphi_{\text{un}}(f)}{df}$$

may be calculated by differentiating the unwrapped total phase response $\varphi_{\text{un}}(f, \mathbf{r})$.

- j) Smoothed curves of the magnitude and phase response are generated by applying spectral averaging to the frequency response $\underline{H}(f, \mathbf{r})$ by stating the smoothing technique applied (complex averaging or separate averaging of the level and phase response) and the used smoothing bandwidth B , which is typically between 1/3rd octave and 1/12th octave.

NOTE 5 Spectral averaging generates smoothed curves, which gives the following benefits:

- improved visual separation of multiple curves plotted on the same axis, e.g., directional off-axis responses;
- conversion of linear averaging to equivalent exponential averaging;
- as a surrogate for averaging the results from multiple devices, e.g. a 'virtual golden sample' for generating tolerance limits;
- simplified interpretation of peaks and dips with respect to spectral audibility;
- reduced errors caused by poor SNR and room reflections in the original measurement.

The magnitude response of the transfer function may be presented as twenty times the logarithm of the ratio between the absolute value of the complex transfer function $|\underline{H}(f, \mathbf{r})|$ and c_{ref} which has a stated reference value (e.g. 1 Pa/V).

19.2 SPL frequency response

19.2.1 Conditions to be specified

The sound pressure level $SPL(f, \mathbf{r})$ as a function of frequency, measured under normal conditions at the measurement point $\mathbf{r}$ using a narrow-band signal with bandwidth B and centre frequency f . The input signal $\tilde{u}(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}(t)$ has a constant RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ for all frequencies f varied in the rated frequency range. The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s , and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ or the scaling factor α , shall be stated.

NOTE The SPL frequency response measured at high amplitudes depends on the interaction between the stimulus and the linear, nonlinear and thermal properties of the DUT.

The linear properties shall be measured in the small signal domain by using a small scaling factor ($\alpha \leq 0,1$) or by performing response measurements at reduced levels until the observed response is unchanged, verifying linear conditions.

The graphical representation of the SPL frequency response shall correspond to IEC 60263 to ensure that the results are not stretched or compressed.

19.2.2 Method of measurement

- a) The loudspeaker shall be operated under normal measuring conditions.
- b) If the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ is not stated by the manufacturer, this value can be determined by using the rated maximum sound pressure level SPL_{max} in accordance with 18.6.
- c) For each frequency f in the rated frequency range $f_l \leq f \leq f_u$, the $SPL(f)$ may be determined either by:
 - 1) Exciting the DUT with a steady-state tone or with a narrow band-filtered noise signal with stated bandwidth B having an RMS value $\alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ within the measurement time T_s . The sound pressure $p(t, \mathbf{r})$ is measured at the measurement point $\mathbf{r}$ and filtered by band pass filter of defined bandwidth B and centre frequency f to reduce noise and nonlinear distortion generated by the DUT before the sound pressure level is calculated.
 - 2) Measuring the transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r})$ by using a broad-band stimulus within the measurement time T_s in accordance with 19.1. The $SPL(f)$ in dB is calculated by

$$SPL(f, \mathbf{r}) = 20 \log \left(\frac{|H(f, \mathbf{r})| \alpha \tilde{u}_{\max}}{p_0} \right)$$

d) Using the reference sound pressure ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

- 1) The measurements are performed at a sufficient spectral resolution over the rated frequency band. Additional smoothing of the frequency response can be applied if the bandwidth B of the spectral averaging is stated by the manufacturer. The results shall be presented in a graph as a function of frequency and the measurement condition shall be stated.

19.3 Time-varying amplitude compression of the fundamental component

19.3.1 General

The amplitude compression $C(f, t_m)$ is the level difference between the magnitude frequency response of a time-varying transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}, t_m)$ measured in interval $t_m < t < t_m + T_s$ and the linear transfer function $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$ measured using a broad-band stimulus at an attenuated maximum input value $\alpha u_{\max}$.

NOTE The amplitude compression $C(f, t_m)$ is a time-varying characteristic (i.e. reduction or increase in the fundamental component), which depends on the voice coil temperature and nonlinearities inherent in the device under test. The amplitude compression corresponds to the negative value of the normalized transfer function as defined in CTA 2010-B.

19.3.2 Method of measurement

- a) The DUT is adjusted to ambient temperature.
- b) The linear transfer function $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$ is measured by using a broad-band stimulus with an rms value $\alpha u_{\max}$ within the measurement time $T_s = 1 \text{ s}$ in accordance with 19.1.
- c) The transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}, t_m)$ is measured by using a broad-band stimulus within the measurement interval $t_m < t < t_m + T_s$ in accordance with 19.1.
- d) The response of the time varying amplitude compression shall be calculated using:

$$C(f, t_m) = 20 \log \left(\left| \underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max}) \right| \right) - 20 \log \left(\left| \underline{H}(f, \mathbf{r}, t_m) \right| \right)$$

19.4 Amplitude compression at maximum input

19.4.1 Short term amplitude compression

The short-term amplitude compression $C_{\text{short}}(f)$ is the level difference between the magnitude frequency response of the transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}, u_{\max})$ measured by using a broad-band stimulus at maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ within the measurement time $T_s = 1 \text{ s}$ and the linear transfer function $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$ measured using the same stimulus at an attenuated maximum input value $\alpha u_{\max}$.

NOTE The short-term amplitude compression $C_{\text{short}}(f)$ reveals the nonlinear mechanisms of the transducer, the effect of the protection system and the limiting effects from other electronics (e.g. amplifier).

19.4.2 Method of measurement

- a) The DUT is adjusted to ambient temperature.
- b) The linear transfer function $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$ is measured by using a specified broad-band stimulus with an RMS value $\alpha u_{\max}$ within the measurement time $T_s = 1 \text{ s}$ in accordance with 19.1.

- c) The transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$ is measured by using a specified broad-band stimulus with the maximum input value $u_{\max}$ within the measurement time $T_s = 1$ s in accordance with 19.1.
- d) The response of the long-term amplitude compression shall be calculated using:

$$C_{\text{short}}(f) = 20 \log(|\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})|) - 20 \log(|\underline{H}(f, \mathbf{r}, u_{\max})|)$$

19.4.3 Long-term amplitude compression

The long-term amplitude compression $C_{\text{long}}(f)$ is the level difference between the magnitude frequency response of the transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}, \tilde{u}_{\max})$ measured by using a broad-band stimulus at maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ within the measurement time $T_s = 1$ s after applying a pre-excitation of the DUT with the same stimulus for $T_{\text{pre}} = 1$ min and the linear transfer function $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha \tilde{u}_{\max})$ measured with the same stimulus at attenuated maximum input value $\alpha \tilde{u}_{\max}$.

NOTE The long-term amplitude compression $C_{\text{long}}(f)$ reveals the thermal and nonlinear mechanisms of the transducer and the effect of the active protection system limiting the maximum output of the device under test.

19.4.4 Method of measurement

- a) The DUT is adjusted to ambient temperature.
- b) The linear transfer function $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, u_{\max})$ is measured by using a specified broad-band stimulus with an RMS value $\alpha u_{\max}$ within the measurement time $T_s = 1$ s in accordance with 19.1.
- c) After exciting the DUT by a broad-band stimulus $u(t)$ with maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ for a pre-excitation time $T_{\text{pre}} = 1$ min, the transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}, \tilde{u}_{\max})$ is measured by using the same stimulus for the measurement time $T_s = 1$ s in accordance with 19.1.
- d) The response of the long-term amplitude compression shall be calculated by:

$$C_{\text{long}}(f) = 20 \log(|\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha \tilde{u}_{\max})|) - 20 \log(|\underline{H}(f, \mathbf{r}, \tilde{u}_{\max})|)$$

19.5 Corrections based on a free-field reference measurement

19.5.1 General

Whenever the low-frequency absorption characteristic of the acoustical test environment (room walls, equipment, etc.) causes a deviation from free-field conditions, such that an accurate measurement of the free-field response under far field conditions is not possible in the rated frequency range in accordance with Clause 16, the low-frequency measurement may be corrected by either filtering the measured sound pressure signal with the complex room correction function or by correcting the resulting amplitude frequency response by a real-value based room correction function.

A reference loudspeaker shall be selected having a directivity index DI , in accordance with 20.3.4, which deviates from the directivity index DI of the device under test (DUT) by not more than 0,5 dB over the frequency range where correction is required and its calibrated free-field response shall extend to the lowest frequency of interest.

19.5.2 Correction of the measured sound pressure signal

This method filters the measured sound pressure signal with the room correction function, which compensates for any phase and amplitude distortion before the signal is analyzed. This is a requirement for accurate measurement of nonlinear distortion and to apply windowing of the impulse response to the device under test.

- a) The complex transfer response $\underline{H}_{\text{free}}(f, \mathbf{r})$ of the reference loudspeaker operated under free-field conditions shall be measured at a defined measurement point $\mathbf{r}$ (e.g. distance r on the reference axis).

For a reference loudspeaker dedicated to reproduce only low frequencies, such as a subwoofer, a half-space anechoic condition shall be used provided a ground floor measurement is applied to the DUT in the non-anechoic test environment.

For a reference loudspeaker with limited low-frequency response (main resonance above 150 Hz), measurements in a very large anechoic room (8 m × 10 m × 12 m, for example) can be sufficiently accurate.

For reference loudspeakers with extended low-frequency response, measurements on a tower (typically 10 m or more above ground level) in the open air can become necessary.

Windowing may be applied to the impulse response to suppress noise, provided there is no change in the time delay nor a reduction in the spectral resolution required to capture the properties of the reference loudspeaker.

- b) The reference loudspeaker shall be moved to the position in the room or non-anechoic test environment located such that its reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ and reference axis take the positions occupied by the device under test.

The radiated sound pressure generated by the reference loudspeaker operated under test conditions shall be determined at the same measurement point (e.g. distance r on the reference axis) as used in step a).

The complex transfer response $\underline{H}_{\text{test}}(f, \mathbf{r})$ shall be determined in accordance with 19.1. Windowing may be applied to the impulse response to suppress noise provided there is no change in the time delay nor a reduction in the spectral resolution required to capture the properties of the reference loudspeaker and the interaction with the boundaries (e.g. room walls).

NOTE For measurement of the low-frequency response of a multi-unit loudspeaker system, the reference point is ideally the reference point of the bass unit.

- c) The complex room correction function $\underline{C}_{\text{room}}(f) = \underline{H}_{\text{free}}(f) / \underline{H}_{\text{test}}(f)$ shall be calculated as the ratio between the transfer function measured under free-field and test conditions.
- d) The reference loudspeaker shall be replaced by the DUT and the sound pressure signal shall be measured using the same equipment. The sound pressure signal $p(t)$ shall be filtered with the complex room correction function $\underline{C}_{\text{room}}(f)$ to generate the corrected sound pressure signal $p'(t)$ with the spectrum $\underline{P}'(f) = \underline{P}(f)\underline{C}_{\text{room}}(f)$. The corrected sound pressure signal $p'(t)$ is the basis for spectral and transient signal processing to calculate the complex transfer response $\underline{H}_{\text{DUT}}(f)$ of the DUT and distortion components.

19.5.3 Correction of the amplitude response

This method applies a correction curve to the measured level of the amplitude response of the fundamental component. This correction curve shall only be used for correcting the frequency response at low frequencies (< 500 Hz) while using defined windowing properties. This technique cannot be used to correct the results of the nonlinear distortion measurement.

- a) The amplitude response $L_{\text{free}}(f) = 20 \log |\underline{H}_{\text{free}}(f)|$ of the reference loudspeaker operated under free-field conditions shall be measured at a defined measurement point $\mathbf{r}$ (e.g. distance r on the reference axis).

For a reference loudspeaker dedicated to reproduce only low frequencies, such as a subwoofer, a half-space anechoic condition shall be used provided a ground floor measurement is applied to the DUT in the non-anechoic test environment.

For a reference loudspeaker with limited low-frequency response (main resonance above 150 Hz), measurements in a very large anechoic room (8 m × 10 m × 12 m, for example) can be sufficiently accurate.

For reference loudspeakers with extended low-frequency response, measurements on a tower (typically 10 m or more above the ground level) in the open air can become necessary. A window large enough to provide sufficient spectral resolution for the device under test at low frequencies shall be applied to the impulse response.

- b) The reference loudspeaker shall be moved to the position in the room or non-anechoic test environment located such that its reference point r_{ref} and reference axis take the positions occupied by the device under test.

The radiated sound pressure generated by the reference loudspeaker operated under test conditions shall be determined at the same measurement point (e.g. distance r on the reference axis) as used in step a).

The amplitude response $L_{test}(f) = 20 \log |H_{test}(f)|$ of the reference loudspeaker operated under test conditions shall be determined in accordance with 19.1. The same windowing as used under free-field conditions shall be applied.

NOTE For measurement of the low-frequency response of a multi-unit loudspeaker system, the reference point is ideally the reference point of the bass unit.

- c) The real-value based correction curve $C_{room}(f) = L_{free}(f) - L_{test}(f)$ shall be calculated as the difference between the amplitude response measured under free-field and test conditions.
- d) The reference loudspeaker shall be replaced by the DUT and the uncorrected amplitude response $L_{DUT,test}(f)$ of the sound pressure shall be measured using the same equipment. The same windowing as used under free-field conditions shall be applied.
- e) The corrected amplitude response $L_{DUT}(f) = L_{DUT,test}(f) + C_{room}(f)$ of the DUT shall be calculated by adding the room correction curve to the uncorrected amplitude response.

19.6 Effective frequency range

19.6.1 Conditions to be specified

The range of frequencies, bounded by stated upper and lower limits, for which the measured frequency response $SPL(f)$ of the loudspeaker, in accordance with 19.2 measured on the reference axis and smoothed by a bandwidth B , is not more than 10 dB below the mean sound pressure level SPL_{mean} averaged over a stated frequency range (typically the rated frequency range). The preferred smoothing bandwidth is 1/12th octave.

19.6.2 Method of measurement

- a) The frequency response $SPL(f,r)$ shall be measured in the rated frequency range in accordance with Clause 16 at a resolution corresponding to a narrow-band filter with a relative bandwidth B . The relative bandwidth B shall be stated if the default value 1/12th octave is not used.
- b) The mean sound pressure level SPL_{mean} is calculated in the stated frequency range in accordance with 18.7.
- c) The effective frequency range shall be determined where the smoothed frequency response is not more than 10 dB below the mean sound pressure level SPL_{mean} .

19.7 Internal latency

19.7.1 Conditions to be specified

The internal latency of the DUT is the difference between the mean group delay of the DUT and the time required for the sound wave to propagate from the reference point r_{ref} to the measurement point r .

NOTE For many electronic devices, latency is understood as the signal delay between the input and output terminals. For a loudspeaker the output signal is evaluated at the reference point r_{ref} , which may be not identical with the acoustical centre depending on the frequency. Thus, the internal latency is a rough estimate of the time delay generated by the electronic components in the loudspeaker.

19.7.2 Methods of measurement

- a) The mean group delay $\tau_{mean}(r)$ between input signal $u(t)$ and sound pressure signal $p(t,r)$ at stated measurement point r shall be measured in accordance with 19.1.2 f).

- b) The internal latency caused by digital signal processing and other electronic components shall be determined by the formula:

$$\tau_{\text{lat}} = \tau_{\text{mean}} - \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}|}{c}$$

- c) where c is the speed of sound.

20 Directional characteristics

20.1 General

The direct sound radiated from the device under test is described by directional characteristics [19] used to predict the sound pressure at points relative to the source. If only far-field data is measured for the device under test, the sound pressure can only be modelled for points within the approximate far field of the device. A more complete 3D-based measurement performed in the near field, in combination with wave expansion techniques, can be used to model both the near field and the far field of the device [20].

20.2 Direct sound field in 3D space

20.2.1 Directional transfer function

20.2.1.1 Conditions to be specified

The directional transfer function $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ between the input signal $u(t)$ and the sound pressure $p(t, \mathbf{r})$ of the direct sound measured at the measurement point $\mathbf{r}$ shall be specified. The measurement point $\mathbf{r}$ is described by the spherical coordinates distance r , azimuthal angle ϕ and angle θ in the stated acoustical environment in accordance with Clause 9.

20.2.1.2 Methods of measurement

- The transfer function $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ shall be measured under free-field or simulated free-field conditions in accordance with Clause 9 unless the influence of the acoustical environment (e.g. limited size of the baffle) cannot be separated from the DUT.
- The position of the measurement points are defined in the region of interest in spherical coordinates with a spatial resolution required for the particular application.
- The transfer function $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ is measured in accordance with 19.1 by using an attenuated stimulus (attenuation factor $\alpha = 0,1$) or by performing response measurements at reduced levels until the observed response is unchanged, verifying linear conditions.

NOTE 1 For systems where only far-field data is required, it is common practice to measure the directional transfer function at a fixed distance r that is approximately in the far field of the DUT ($r > r_{\text{far}}$).

NOTE 2 The measurements performed at two measurement points at the same directions ($\theta_1 = \theta_2$, $\phi_1 = \phi_2$) but different distances ($r_1 \neq r_2$) can be used to check the far field condition and to determine the critical distance r_{far} in accordance with 10.2.1.

20.2.2 Extrapolated far-field data

20.2.2.1 Conditions to be specified

A directional transfer function $\underline{H}(f, r_2, \phi_2, \theta_2)$ between the input signal $u(t)$ and the sound pressure $p(t, \mathbf{r}_2)$ of the direct sound in the far field at distance $r_2 > r_{\text{far}}$ and angles (ϕ_2, θ_2) is extrapolated from a transfer function $\underline{H}(f, r_1, \phi_1, \theta_1)$ measured in the far field at the distance $r_1 > r_{\text{far}}$ at the same angles ($\phi_1 = \phi_2$, $\theta_1 = \theta_2$).

20.2.2.2 Methods of measurement

- a) The transfer function $\underline{H}(f, r_1, \theta_1, \phi_1)$ shall be measured in far field at distance $r_1 > r_{\text{far}}$ under free-field or simulated free-field conditions in accordance with Clause 9 unless the influence of the acoustical environment (e.g. limited size of the baffle) cannot be separated from the DUT.
- b) The transfer function $\underline{H}(f, r_2, \theta_2, \phi_2)$ to a point at distance $r_2 > r_{\text{far}}$ in the in the same direction is calculated by

$$\underline{H}(f, r_2, \theta_2, \phi_2) = \underline{H}(f, r_1, \theta_1, \phi_1) \frac{r_1}{r_2} e^{-jk(r_2 - r_1)}$$

20.2.3 Parameters of the holographic sound field expansion

20.2.3.1 Conditions to be specified

The coefficients $C(f)$, the approximation order $N(f)$ depending on frequency f , the validity radius a and the general basic functions $\mathbf{B}(f, \mathbf{r})$ of the wave expansion describe the directional transfer function

$$\underline{H}(f, \mathbf{r}) = C(f) \mathbf{B}(f, \mathbf{r})$$

between the input signal $u(t)$ and the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at measurement point $\mathbf{r}$ at a distance $r = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}|$ from the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ which is larger than the validity radius a as illustrated in Figure 3.

NOTE The basic functions $\mathbf{B}(f, \mathbf{r})$ are general solutions of the wave equation and are independent of the properties of the particular DUT. Spherical harmonics and Hankel functions are suitable basis functions of the sound waves generated by compact sound system as shown in Annex B.

The region of validity shall be defined by specifying the space (2π half-space or 4π full-space) of expansion and the radius of the sphere, which is outside of the scanning surface S_s .

20.2.3.2 Method of measurements

- a) By ensuring sufficient spatial resolution, the multiple measurement points $\mathbf{r}_i$ with $i = 1, \dots, M$ are defined on at least one scanning surface S_k with $k = 1, \dots$ in the near or far field of the DUT.

NOTE A simulated free-field condition, in accordance with 9.4 and 9.5, can be generated by performing an additional scan on a second scanning surface S_2 placed between the surface S_{DUT} of the DUT and the first scanning surface S_1 as illustrated in Figure 3. Wave separation techniques [20] can be used to separate the outgoing direct sound from the incoming reflected sound generated by the acoustical environment.

- b) The transfer functions $\underline{H}(f, \mathbf{r}_i)$ between input signal $u(t)$ and the sound pressure $p(t, \mathbf{r}_i)$ at the measurement points $\mathbf{r}_i$ with $i = 1, \dots, M$ are measured on the scanning surfaces S_k with $k = 1, 2, \dots$ in accordance with 19.1.
- c) The expansion coefficients $C(f)$ are estimated by ensuring a minimum of the fitting error, which is the squared difference between measured and predicted sound pressure at all measurement points $\mathbf{r}_i$ with $i = 1, \dots, M$. The order $N(f)$ is determined to ensure that the fitting error of the wave expansion stays below a defined threshold. The radius a describing the validity of the expansion is determined by searching for a sphere with the smallest radius centred at the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ surrounding the scanning surface S_1 .

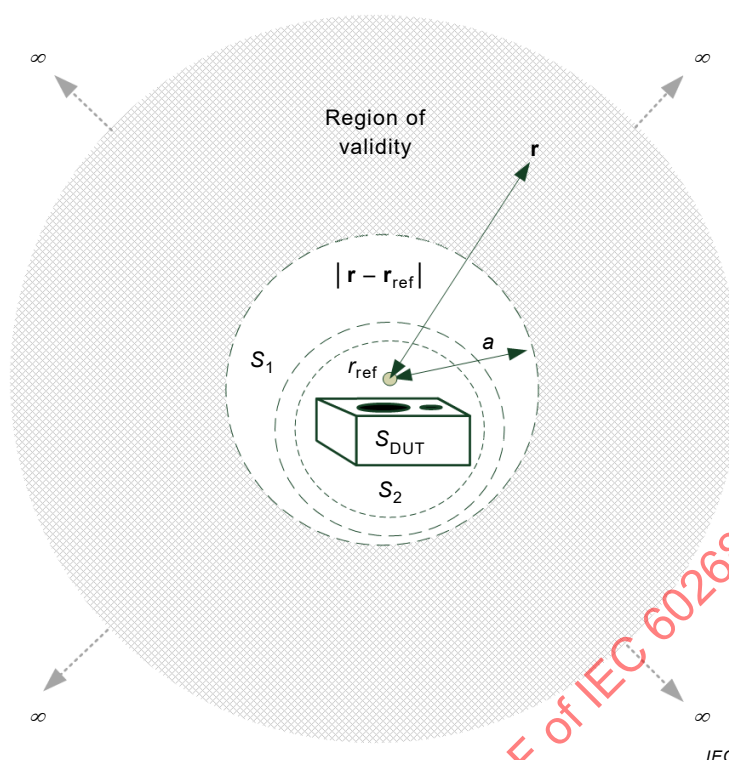


Figure 3 – Valid region of expansion of the sound pressure $p(r)$ at the observation point r at the distance $r > a$

20.2.4 Extrapolated near-field data

20.2.4.1 Conditions to be specified

The directional transfer function $H(f, \mathbf{r})$ between the input signal $u(t)$ and the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at an evaluation point $\mathbf{r}$ at a distance $r = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}|$ from the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$, which is larger than the validity radius a , can be calculated based on the parameters of the holographic sound field expansion.

20.2.4.2 Methods of measurement

- a) The parameters of the holographic sound field expansion shall be determined by using the scanned sound pressure in the near field of the DUT in accordance with 19.1. The coefficients $C(f)$, the order $N(f)$ of the expansion and the validity radius a shall be stated.

The sound pressure shall be scanned in the near field of the DUT to generate a minimum value of the validity radius a and to extrapolate the sound pressure at any point $\mathbf{r}$ in the near or far field of the DUT with a distance $r > a$.

- b) The directional transfer function $H(f, \mathbf{r}) = C(f)B(f, \mathbf{r})$ shall be calculated at an evaluation point $\mathbf{r}$ at a distance $r = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}| > a$ based on given coefficients $C(f)$ and defined basic solutions $B(f, \mathbf{r})$ of the wave equation.

20.3 Directional far field characteristics

20.3.1 Directional factor

20.3.1.1 Conditions to be specified

The directional factor

$$\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi) = \frac{\underline{P}(f, r, \theta, \phi)}{\underline{P}(f, r, \theta_r, \phi_r)} = \frac{\underline{H}(f, r, \theta, \phi)}{\underline{H}(f, r, \theta_r, \phi_r)}$$

is the ratio between the complex sound pressure value $\underline{P}(f, r, \theta, \phi)$ at any azimuthal angle ϕ and polar angle θ to the sound pressure value $\underline{P}(f, r, \theta_r, \phi_r)$ defined by reference angles ϕ_r and θ_r measured in the far-field of the DUT. This ratio also applies using the transfer functions $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ and $\underline{H}(f, r, \theta_r, \phi_r)$. If not otherwise defined by the manufacturer, the reference angles $\phi_r = 0$ and $\theta_r = 0$ correspond to the normal vector $\mathbf{n}_{\text{ref}}$ and the orientation vector $\mathbf{o}_{\text{ref}}$ in accordance with Clause 10.

NOTE It is not recommended to derive the reference angles $\phi_r = \phi_{\text{max}}(f)$ and $\theta_r = \theta_{\text{max}}(f)$ from the main radiation direction defined by

$$|\underline{H}(f, r, \theta_{\text{max}}, \phi_{\text{max}})| = \max_{\phi, \theta} (|\underline{H}(f, r, \theta, \phi)|)$$

In this case, the modulus of the directional factor $|\underline{\Gamma}(f, r, \theta, \phi)| \leq 1$ would stay below one but the reference angles $\phi_r(f)$ and $\theta_r(f)$ would vary in general with frequency f [21].

20.3.1.2 Methods of measurement

- a) The measurements are performed by selecting one of the procedures described below:
 - 1) In accordance with 20.2.1, the directional transfer functions $\underline{H}(f, \mathbf{r}_i)$ between the input voltage and the output sound pressure are measured at multiple points $\mathbf{r}_i$ with $i = 1, \dots, M$ in the far field of the source at a fixed distance r with defined angular resolution.
 - 2) The coefficients $C(f)$ of the wave expansion are determined in accordance with 20.2.3. The wave expansion is used to extrapolate the sound propagation and to determine the sound pressure $\underline{P}(f, r, \theta, \phi)$ or the transfer functions $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ at the distance r in the far field.
- b) The directional factor is determined from the transfer function $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ measured at a distance r on a spherical surface in the far field, or it is determined by using the coefficients of the wave expansion determined as shown in Annex E.
- c) One or more of the following directional response pattern displays shall be chosen:
 - 1) A family of two-dimensional polar response curves in the vertical and horizontal planes at a minimum of the preferred frequencies of 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz and 8 000 Hz.
 - 2) Three-dimensional polar response surfaces (balloon plots) at a minimum of the preferred frequencies of 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz and 8 000 Hz. The minimum azimuthal angle interval shall be 10°.
 - 3) A family of frequency response curves of sound pressure level or phase at various angles from the reference axis. The minimum azimuthal angle interval shall be 15°.
 - 4) Directional maps displaying isocontours of sound pressure level or phase with respect to vertical/horizontal angle and frequency.
 - 5) A three-dimensional display of the sound pressure level or phase at a stated frequency.

Great care shall be used to ensure that significant lobes and nulls are adequately explored. This may require an azimuthal angular interval of 2° or less in some cases [22]. In presenting the results, the orientation of the measuring axis with respect to the reference axis shall be stated. If a point-by-point method is used, the graph shall clearly show the angles used.

For very small loudspeakers such as tweeters, it may be necessary to use higher frequencies outside those mentioned above. These frequencies shall comply with those given in Annex C.

Care shall be taken that the level in the direction of the reference angles corresponds to the zero level of the polar diagram.

20.3.2 Directional gain

Expressed in decibels, the directional gain

$$D(f, \theta, \phi) = 20 \log |\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)|$$

shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the directional factor $\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)$ measured in accordance with 20.3.1.

20.3.3 Directivity factor

20.3.3.1 Conditions to be specified

The directivity factor is defined as

$$Q(f) = \frac{4\pi}{\int_{\Omega} |\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)|^2 d\Omega}$$

with $d\Omega = \sin(\theta)d\phi d\theta$ by taking the integral of the squared directional factor over the unit sphere.

20.3.3.2 Methods of measurement

- The directional factor $\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)$ is measured in accordance with 20.3.1 with defined angular resolution. Alternatively, the coefficients $C(f)$ of the wave expansion can be determined by scanning the sound pressure field on a scanning surface S_k in accordance with 20.2.3.
- The directivity factor may be calculated based on the directional factor $\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)$ or the coefficients $C(f)$ of the wave expansion in accordance with E.3.
- For the special case of axial symmetry where, for any particular value of θ , the directional factor $\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)$ produced by the sound source is independent of the value of ϕ , the directivity factor can be calculated by

$$Q(f) = \frac{360^\circ}{\pi \sum_{n=1}^{180^\circ/\Delta\theta} |\underline{\Gamma}(f, \theta_n)|^2 \sin \theta_n \Delta\theta}$$

where $\Delta\theta$ is the separation in degrees of the successive points around the sound source, $180^\circ/\Delta\theta$ is the number of measurements that were made in passing from a point directly in front of the source to one directly behind the source (see [17], p. 165).

20.3.4 Directivity index

20.3.4.1 Conditions to be specified

Expressed in decibels, the directivity index

$$DI(f) = 10 \log_{10} Q(f)$$

shall be specified as ten times the logarithm of the ratio between the directivity factor $Q(f)$ measured in accordance with 20.3.3.

20.3.4.2 Methods of measurement

The directivity index $DI(f)$ may be determined by one of the following methods:

a) Calculation based on directional far-field characteristics:

The directional factor $\Gamma(f, \theta, \phi)$ shall be measured in accordance with 20.3.1 at sufficient angular resolution. The directivity index $DI(f)$ is calculated based on measured directivity factor $Q(f)$ in accordance with 20.3.3.

b) Calculation based on coefficients $C(f)$ of the wave expansion:

The coefficients $C(f)$ of the wave expansion are determined in accordance with 20.2.3 and the directivity factor index $DI(f)$ is calculated based on measured directivity $Q(f)$ in accordance with 20.3.3.

c) Measurements under free-field and diffuse conditions:

- 1) In accordance with 19.2, the sound pressure level response $SPL_{ax}(f)$ shall be measured under free-field conditions on the reference axis at a distance of 1 m using an attenuated broadband stimulus (attenuation factor $\alpha = 0,1$).
- 2) The sound pressure level $SPL_{dif}(f)$ shall be measured under diffuse field conditions using the same attenuated broadband stimulus.
- 3) The directivity index $DI(f)$, expressed in dB, is then determined from the formula:

$$DI(f) = SPL_{ax}(f) - SPL_{dif}(f) + 10 \lg(T(f)) - 10 \lg(V(f)) + 25$$

where

$SPL_{ax}(f)$ is the sound pressure level in dB under free-field conditions measured on the reference axis and referred to a distance of 1 m,

$SPL_{dif}(f)$ is the sound pressure level in dB measured under diffuse field conditions,

$T(f)$ is the reverberation time of the reverberation room in seconds (s),

$V(f)$ is the reverberation room volume in cubic metres (m³).

20.4 Acoustic output power

20.4.1 Conditions to be specified

The total sound power radiated by a DUT shall be specified in a given frequency band with a centre frequency f and a defined input signal $u(t)$ generating an RMS value $\tilde{u}(f)$ in this frequency band.

20.4.2 Methods of measurement

The acoustic output power is determined by one of the following methods:

a) Integration of the far-field sound pressure on a sphere:

The acoustic output power may be calculated by integrating the sound pressure on the sphere or by the following equation

$$\Pi(f) = \frac{r^2}{\rho c} \int_{\Omega} \tilde{p}^2(f, r, \theta, \phi) d\Omega$$

of the RMS sound pressure $\tilde{p}(f, r)$ on a sphere in the far field. The acoustic power under free-field full space conditions may be determined by the formula:

$$\Pi(f) = \frac{4\pi r^2}{\rho c} \overline{\tilde{p}^2(f)} = 0,031r^2 \overline{\tilde{p}^2(f)}$$

where

$\Pi(f)$ is the acoustic power in W,

r is the sphere radius in m,

$\overline{\tilde{p}^2(f)}$ is the squared sound-pressure averaged over a large sphere in squared Pa,

ρ and c are the density and the sound speed of air under standard conditions.

The acoustic power under half-space free-field conditions shall be determined by the formula:

$$\Pi(f) = \frac{2\pi r^2}{\rho c} \overline{\tilde{p}^2(f)} = 0,016r^2 \overline{\tilde{p}^2(f)}$$

In the case of full-space free-field conditions, the square of the RMS sound pressure shall be averaged over a large sphere, and, in the case of half-space free-field conditions, over a large hemisphere in accordance with ISO 3744 and ISO 3745. In both cases, there is a requirement for a large number of points evenly distributed around the system under measurement.

If the system has axial symmetry of revolution, measurements in a plane containing this axis might be considered sufficient provided the measurements are suitably weighted in the averaging process.

Alternatively, the acoustic output power may be calculated by integrating the transfer function on the sphere or by the following equation

$$\Pi(f) = \tilde{u}^2(f) \frac{r^2}{\rho c} \int_{\Omega} |H(f, r, \theta, \phi)|^2 d\Omega$$

using the RMS value $\tilde{u}(f)$ with a given frequency band and a centre frequency f .

b) Calculation based on far-field characteristics:

The acoustic output power may be calculated by the following equation

$$\Pi(f) = \frac{\tilde{p}^2(f, r, \theta_r, \phi_r)}{\rho c} \int_{\Omega} |\underline{\Gamma}(f, \theta, \phi)|^2 d\Omega = \frac{\tilde{p}^2(f, r, \theta_r, \phi_r) 4\pi r^2}{Q(f) \rho c}$$

using the RMS sound pressure value $\tilde{p}(f, r, \theta_r, \phi_r)$ at distance r on the reference axis defined by reference angles ϕ_r , θ_r and the directional factor $\underline{\Gamma}(\theta, \phi)$ or directivity factor $Q(f)$ measured in accordance with 20.3.1 or 20.3.3, respectively.

c) Calculation based on coefficients of the wave expansion:

The acoustic output power is calculated by using the coefficients $C(f)$ in accordance with E.4.

d) Measurement of acoustic power under diffuse field conditions in accordance with ISO 3741:

The acoustic power of the loudspeaker $\Pi(f)$ is approximately given by the relation:

$$\Pi(f) = \frac{V}{T_{60}(f)} \tilde{p}(f)^2 10^{-4}$$

where

$\Pi(f)$ is the acoustic power in W,

V is the reverberation room volume in m³,

$T_{60}(f)$ is the reverberation time in seconds of the room in the frequency band considered,

$\tilde{p}(f)$ is the sound-pressure in Pa.

The filtering may take place either in the loudspeaker chain or in both the loudspeaker and the microphone chains.

20.5 Sound power level

Expressed in decibels, the sound power level

$$L_{\Pi}(f) = 10 \log_{10} \left(\frac{\Pi(f)}{\Pi_0} \right)$$

shall be specified as ten times the logarithm of the ratio between the acoustic output power $\Pi(f)$ measured in accordance with 20.4 and the reference power $\Pi_0 = 10^{-12}$ W.

20.6 Mean acoustic output power in a frequency band

20.6.1 Conditions to be specified

The arithmetic mean of the acoustic output power in all 1/3 octave frequency bands located within the frequency band being considered.

20.6.2 Method of measurement

- The measurement shall be made in accordance with 20.4.2.
- The mean acoustic output power shall be calculated as the arithmetic mean of the individually measured acoustic output powers for each of the 1/3 octave frequency bands contained within the frequency range being considered.

20.7 Radiation angle

20.7.1 Conditions to be specified

The angle measured with respect to the reference axis (in a plane containing this axis) where the sound-pressure level at the measuring distance has decreased with off-axis angle for the first time by 10 dB with respect to the sound-pressure level on the reference axis. In addition, the frequency range over which this specification is met shall be stated.

NOTE This definition is less practical at high frequencies where many, narrow lobes require a high angular resolution.

20.7.2 Method of measurement

- The radiation angle shall be deduced from the beam pattern measured in accordance with 20.3.2 in the rated frequency range.
- The radiation angle may be plotted as a graph with frequency on the abscissa and the angles on the ordinate, symmetrical with respect to 0°.

NOTE A logarithmic ordinate (vertical) axis is a useful presentation, as the asymptotes of radiation angle at low frequencies can be more clearly seen.

- If the directional response pattern of the loudspeaker has no cylindrical symmetry, the value shall be given in two perpendicular planes.

20.8 Coverage angle or angles

20.8.1 Conditions to be specified

The angle, measured in a plane containing the reference axis, between the two directions on either side of the main lobe of the directional gain, in accordance with 20.3.2 centred on a specific frequency, where the sound-pressure level is 6 dB less than that in the direction of the reference axis.

For loudspeakers which are designed to have different coverage angles in different planes through the reference axis, coverage angles shall be specified in at least two orthogonal planes.

20.8.2 Method of measurement

- a) If the effective frequency range of the loudspeaker includes both 2 800 Hz and 5 700 Hz (1/2 octave above and below 4 000 Hz), the coverage angle or angles shall be deduced from the directional response pattern or patterns measured with an octave band centred on 4 000 Hz.

If the effective frequency range does not include the octave band centered on 4 000 Hz, the coverage angle or angles shall be deduced from measurements in an octave band of specified centre frequency near the upper limit of the effective frequency range.

In addition, the coverage angle or angles may be specified for other center frequencies of octave bands.

The octave band centre frequency or frequencies used for the measurements shall be presented with the measured data.

- b) The values shall be presented in a table or as a diagram.

20.9 Mean sound pressure level in an acoustical zone

20.9.1 General

The mean sound pressure level shall be calculated based on the mean value of the squared sound pressure $p(t, \mathbf{r}_n)$ at multiple measurement points $\mathbf{r}_n$ with $n = 1, \dots, N$ representing an acoustical zone in the direct sound field generated by the device under test. The manufacturer shall state the coordinates of acoustical zone, the number of points and a weighting function $w(f, \mathbf{r}_n)$, if applied.

20.9.2 Method of measurement

- a) Define a grid of points $\mathbf{r}_n$ with $n = 1, \dots, N$ in the stated acoustical zone to sample the sound field with sufficient resolution.

For the evaluation of the far field properties, it is recommended to define the acoustical zone as a segment or line on a sphere of radius r (e.g. $r = 2$ m as defined for in-home loudspeakers for CTA 2034-A). For the evaluation of other applications, it is recommended to define the acoustical zone as a cuboid as defined in IEC 62777.

- b) Measure the directional transfer function $\underline{H}(f, \mathbf{r}_n)$ between the input signal $u(t)$ and sound pressure $p(t, \mathbf{r}_n)$ at points $\mathbf{r}_n$ with $n = 1, \dots, N$ in accordance with 20.2.1.
- c) Calculate the weighted mean sound pressure level in an acoustical zone as

$$\begin{aligned}
 L_{\text{zone}}(f) &= \frac{1}{\sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n)} \sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n) L(f, \mathbf{r}_n) \\
 &= \frac{1}{\sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n)} \sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n) 20 \log \left(\frac{\tilde{u}(f)}{p_0} |H(f, \mathbf{r}_n)| \right)
 \end{aligned}$$

using the weighting function $w(f, \mathbf{r}_n)$ defined for the particular application, the RMS value of the input signal and reference sound pressure $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

21 Harmonic distortion

21.1 General

A general explanation of harmonic distortion can be found in IEC 60268-2, and there is further information in Annex F.

21.2 N^{th} -order harmonic component

21.2.1 Conditions to be specified

The n^{th} -order harmonic component in terms of total sound pressure $\tilde{p}$ are measured under normal measurement conditions by exciting the DUT with a sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ with frequency f . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ or the scaling factor α shall be stated.

21.2.2 Method of measurement

- a) A series of sinusoidal input stimuli with increasing frequencies, up to 10 kHz, shall be supplied to the loudspeaker. The chosen RMS value $\tilde{u}$ of the input signal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ shall be those that are the most relevant for the intended use, but shall not exceed the maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$.

A sinusoidal chirp is a recommended stimulus, because the step-by-step method using steady-state tones may cause important information to be missed. A Hann-Burst signal as defined in 8.8 can be used as a short excitation signal distributing the spectral power over one third of an octave. This measurement technique developed by Keele [5] and shall be performed in accordance with CTA 2034-A and CTA 2010-B.

- b) The sound pressure signal $p(t)$ is measured at the measurement point $\mathbf{r}$ under normal measurement conditions in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point $\mathbf{r}$ is the evaluation point $\mathbf{r}_e$.
- c) The RMS value of the fundamental component $\tilde{p}_f(f)$ and the RMS values $\tilde{p}_{nf}(f)$ of n^{th} -order harmonic components shall with $n > 1$ be determined by applying spectral analysis to the measured sound pressure signal $p(t)$.
- d) Expressed in decibels, the sound pressure level $L_f(f)$ of the fundamental component shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the RMS value $\tilde{p}_f(f)$ and the standard reference sound pressure (20 μPa).
- e) Expressed in decibels, the sound pressure level $L_{nH}(f)$ of the n^{th} -order harmonic components shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the RMS value $\tilde{p}_{nf}(f)$ of the n^{th} -order harmonic components ($n > 1$) and the standard reference sound pressure (20 μPa).

NOTE The level of the harmonic distortion components (not referred to the total RMS value) can directly be compared with the level of the fundamental component.

- f) The results of the measurement shall be presented graphically as a function of the fundamental frequency. With the results, the following information shall be given:
- the input RMS value or the scaling factor α and the sound-pressure level at the measurement point r ;
 - the method used, a sinusoidal chirp signal or a steady-state signal varied step-by-step or Hann-Burst stimulus;
 - any discrete frequencies used;
 - the measurement position of the microphone if it differs from the evaluation point r_e and the conditions of the measurement (free-field or half-space free-field);
 - bandwidth of spectral smoothing if applied to the frequency response.

21.3 Total harmonic components

21.3.1 Conditions to be specified

The total harmonic components in terms of total sound pressure $\tilde{p}$ are measured under normal measurement conditions by exciting the DUT with a sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ with frequency f . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.

21.3.2 Method of measurement

- a) The RMS value $\tilde{p}_{nf}(f)$ of the n th-order harmonic components in the measured sound-pressure signal $p(t)$ shall be measured in accordance with 21.2.2 a) and b).
- b) The RMS value of the total harmonic component fundamental component $\tilde{p}_{TH}(f)$ and the shall be determined by the formula:

$$\tilde{p}_{TH}(f) = \sqrt{\sum_{n=2}^N \tilde{p}_{nf}^2(f)}$$

where the highest harmonic order N considered in the $THD(f)$ shall be stated.

- c) Expressed in decibels, the sound pressure level $L_{TH}(f)$ of the total harmonic components shall be specified as twenty times the logarithm of the ratio between the RMS value $\tilde{p}_{TH}(f)$ of the total harmonic components and the standard reference sound pressure (20 μ Pa).

NOTE The level of the total harmonic components $L_{TH}(f)$ can directly be compared with the level $L_f(f)$ of the fundamental component and with the levels of individual n th-order harmonic components $L_{nf}(f)$.

21.4 Total harmonic distortion

21.4.1 Conditions to be specified

The total harmonic distortion in terms of total sound pressure $\tilde{p}$ under normal measurement conditions by exciting the DUT with a sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ with frequency f . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.

21.4.2 Method of measurement

- a) The RMS value $\tilde{p}_{nf}(f)$ of the n th-order harmonic components in the measured sound pressure signal $p(t)$ shall be measured in accordance with 21.2.2.

- b) The RMS value $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ of a reference signal shall be determined. The RMS value $\tilde{p}(f)$ of the total sound pressure signal including the fundamental, all harmonics and noise shall be used as the reference value $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ if not stated otherwise.

The total harmonic distortion can be determined by the formula:

in percentage:

$$THD(f) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N \tilde{p}_{nf}^2(f)}}{\tilde{p}_{\text{ref}}(f)} 100\%$$

in decibels:

$$L_{THD}(f) = 20 \lg \left(\frac{THD}{100\%} \right)$$

where the highest harmonic order N considered in the $THD(f)$ shall be stated.

- c) The results of the measurement shall be presented graphically as a function of the fundamental frequency on a log abscissa (y -axis), if in percent. With the results, the following information shall be given:
- the input RMS value or the scaling factor α and the sound pressure level at the measurement point r ;
 - the method used, a sinusoidal chirp signal or a steady-state signal varied step-by-step;
 - any discrete frequencies used;
 - the measurement position of the microphone if it differs from the evaluation point r_e and the conditions of the measurement (free-field or half-space free-field);
 - bandwidth of spectral smoothing if applied to the frequency response.

21.5 Higher-order harmonic distortion

21.5.1 Conditions to be specified

The higher-order harmonic distortion in terms of total sound pressure $\tilde{p}$ under normal measurement conditions by exciting the DUT with a sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ with frequency f . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ or the scaling factor α shall be stated.

NOTE The higher-order harmonic distortion HOHD evaluates the energy of spectral components at frequencies nf , which are multiples n of the excitation frequency f with $N_1 \leq n \leq N$. This characteristic reveals the deterministic, nonlinear properties of the device under test such as hard limiting of the mechanical suspension at high excursion. However, the higher-order harmonic distortion cannot reliably detect loose particles, and other loudspeaker defects with random properties (e.g. voice coil rubbing, buzzing, air leakage noise) generating impulsive distortion comprising non-harmonic components. The measurement of impulsive distortion based on time-domain analysis according to Clause 24 provides maximum sensitivity for both random and deterministic defects as described in Clause F.3.

21.5.2 Method of measurement

- a) The RMS value $\tilde{p}_{nf}(f)$ of the n th-order harmonic components in the measured sound pressure signal $p(t)$ shall be measured in accordance with 21.2.2.
- b) The RMS value $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ of a reference signal shall be determined. The RMS value $\tilde{p}(f)$ of the total sound pressure signal including the fundamental, all harmonics and noise shall be used as the reference value $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ if not stated otherwise.

NOTE The RMS value $\tilde{p}_f(f)$ of the fundamental component or the mean sound pressure $\tilde{p}_m$ in a stated frequency range are useful alternatives for the reference value $\tilde{p}_{ref}(f)$.

- c) The higher-order harmonic distortion shall be determined by the formula:
in percentage:

$$HOHD(f) = \frac{\sqrt{\sum_{n=N_l}^N \tilde{p}_{nf}^2(f)}}{\tilde{p}_{ref}(f)} 100\%$$

in decibels:

$$L_{HOHD}(f) = 20 \lg \left(\frac{HOHD(f)}{100\%} \right)$$

where the lowest harmonic order N_l and the highest order N considered in the $HOHD(f)$ shall be stated.

- d) The results of the measurement shall be presented graphically as a function of the fundamental frequency on a log abscissa (ν -axis), if in percent. With the results the following information shall be given:
- the input RMS value or the scaling factor α and the sound pressure level at the measurement point r ;
 - the method used, a sinusoidal chirp signal or a steady-state signal varied step-by-step;
 - any discrete frequencies used;
 - the measurement position of the microphone if it differs from the evaluation point r_e and the conditions of the measurement (free-field or half-space free-field);
 - bandwidth of spectral smoothing if applied to the frequency response.

21.6 Maximum sound pressure level limited by total harmonic distortion

21.6.1 Conditions to be specified

The maximum sound pressure level $SPL_{THD}(f, r)$ at the measurement point r for a sinusoidal stimulus at frequency f generating a defined value of THD_{lim} in the sound pressure output.

The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS-value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ or the scaling factor α shall be stated.

NOTE A Hann-Burst signal as defined in 8.8 provides a short excitation of the device under test while distributing the spectral power over one third of an octave. The increase in voice coil temperature can be significantly reduced by allowing additional cooling time between measurements. This measurement technique developed by Keele [5] is described in greater detail in CTA 2010-B and CTA 2034-A.

21.6.2 Method of measurement

- a) A series of sinusoidal input signals $u(t) = \alpha \tilde{u}_{max} x(t)$ with increasing frequency and sufficient spectral resolution, up to 10 kHz, and increasing RMS input $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ in 1 dB steps by using an appropriate scaling factor $\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$ shall be supplied to the DUT. The minimum and maximum scaling factors α_{min} and α_{max} , respectively, depend on the value THD_{lim} (typical values are $\alpha_{min} = 0,1$ and $\alpha_{max} = 1$).
- b) The sound pressure signal $p(t)$ is measured at the stated measurement point r under normal measurement conditions in accordance with 7.3.

- c) Based on measured sound pressure signal $p(t)$, the total harmonic distortion $THD(f, \alpha)$ and sound pressure level $SPL(f, \alpha)$ are measured as a function of frequency f and scaling factor α
- d) The maximum sound pressure level $SPL_{THD}(f, r)$ at a defined threshold value THD_{lim} is determined by linear interpolation between the measured data points in $THD(f, \alpha)$ and $SPL(f, \alpha)$.

The linear interpolation requires sufficient resolution of the amplitude variation (1 dB steps).

21.7 N^{th} -order equivalent input harmonic distortion component

21.7.1 Conditions to be specified

The equivalent n^{th} -order harmonic input distortion $EIHD_n(f)$ in the input signal $u(t)$ corresponds to the harmonic distortion measured in the sound pressure output $p(t, r_i)$ at the measurement point r while exciting the DUT under normal measurement conditions with a sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ at frequency f . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.

NOTE If the source of the harmonic distortion (e.g. force factor nonlinearity) is located close to the input of the transducer, the $EIHD(f, r_i) = \text{const.}$ is independent of the position of the measurement point r_i with $i = 1, \dots, N$. This simplifies the interpretation of distortion generated by motor and suspension nonlinearities as discussed in Clause F.1 and Klippel [23].

21.7.2 Method of measurement

- a) A series of sinusoidal input stimuli with increasing frequencies, up to 5 000 Hz, shall be supplied to the loudspeaker. The chosen RMS value $\tilde{u}$ of the input signal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ shall be those which are the most relevant for the intended use but shall not exceed the maximum input value $\tilde{u}_{\max}$.

NOTE 1 A sinusoidal chirp is a preferred stimulus, because the step-by-step method using steady-state tones can cause important information to be missed.

- b) The sound pressure signal $p(t, r)$ is measured at the measurement point r under normal measurement conditions in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point r is the evaluation point r_e .
- c) The linear transfer function $H(f, r)$ between input $u(t)$ and measurement point r shall be measured in the small signal domain in accordance with 19.1.
- d) The sound pressure signal $p(t, r)$ measured in the large signal domain shall be filtered with the inverse transfer function $H(f, r)^{-1}$ to transfer the measured sound pressure into a virtual input signal $u'(t, r)$.

NOTE 2 The virtual input signal $u'(t, r)$ is not identical with the input signal $u(t)$ at high amplitudes but reveals harmonic components and other nonlinear and thermal effects in the fundamental component.

- e) The RMS value of the fundamental component $\tilde{u}'_f(f)$ and the RMS values $\tilde{u}'_{nf}(f)$ of n^{th} -order equivalent input harmonic components shall with $n > 1$ be determined by applying spectral analysis to virtual input signal $u'(t, r)$.
- f) Expressed in decibels, the amplitude compression of the fundamental component shall be determined by the formula

$$C_f(f) = -20 \lg \left(\frac{\tilde{u}'_f(f)}{\tilde{u}} \right)$$

using the RMS value of the input stimulus.

NOTE 3 The amplitude variation $C_f(f)$ corresponds to the short-term amplitude compression $C_{\text{short}}(f)$ and long-term amplitude compression $C_{\text{long}}(f)$ amplitude compression depending on the measurement time in accordance with 19.4 and 19.4.3, respectively.

- g) The n^{th} -order equivalent input harmonic distortion shall be determined by the formula:
in percentage:

$$EIHD_n(f) = \frac{\tilde{u}'_{nf}(f)}{\tilde{u}} 100\%$$

in decibels:

$$L_{nEIHD}(f) = 20 \lg \left(\frac{EIHD_n(f)}{100\%} \right)$$

- h) The results of the measurement shall be presented graphically as a function of the fundamental frequency. With the results, the following information shall be given:
- the input RMS value or the scaling factor α and the sound-pressure level at the measurement point $\mathbf{r}$;
 - the method used, a sinusoidal chirp signal or a steady-state signal varied step-by-step;
 - any discrete frequencies used;
 - the measurement position of the microphone if it differs from the evaluation point $\mathbf{r}_e$ and the conditions of the measurement (free-field or half-space free-field);
 - bandwidth of spectral smoothing if applied to the frequency response.

21.8 Equivalent input total harmonic distortion

21.8.1 Conditions to be specified

The equivalent total harmonic input distortion (EITHD) in the input signal $u(t)$ corresponds to the harmonic distortion in the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$ while exciting the DUT under normal measurement conditions with a sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ with frequency f . The properties of the stimulus $u(t)$, the measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.

21.8.2 Method of measurement

- a) The RMS values $\tilde{u}'_{nf}(f)$ of n^{th} -order equivalent harmonic components with $n > 1$ in the virtual input signal $u'(t, \mathbf{r})$ shall be measured in accordance with 21.7.2 a) to e).
- b) The equivalent total harmonic input distortion [25] shall be determined in percentage:

$$EITHD(f) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N \tilde{u}'_{nf}{}^2(f)}}{\tilde{u}'(f)} 100\%$$

in decibels:

$$L_{EITHD}(f) = 20 \lg \left(\frac{EITHD(f)}{100\%} \right)$$

where the highest harmonic order N considered in the $EITHD(f)$ shall be stated.

- c) The results of the measurement shall be presented in accordance with 21.7.2 h).

22 Two-tone distortion

22.1 Variation of excitation frequencies

The device under test shall be excited by a two-tone stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x_t(t)$ in accordance with 8.4 and the intermodulation distortion components generated in the sound pressure output shall be measured as a function of the frequencies f_1 or f_2 , where frequency f_1 is lower than frequency f_2 .

It is recommended to keep the frequency f_1 significantly lower than the frequency f_2 in order to measure the intermodulation components that provide unique information, which cannot be found in the harmonics (see comments to Figure F.2).

One of the following techniques shall be used (as illustrated in Figure F.2):

- variation of the high-frequency tone f_2 while keeping the low-frequency tone f_1 at a constant frequency (e.g. to generate high voice coil displacement);
- variation of the low-frequency tone f_1 while keeping the high-frequency tone f_2 at a constant frequency (to investigate the influence of displacement and current);
- variation of both frequencies f_1 and f_2 while keeping the frequency ratio $f_2/f_1 = \text{const.}$;
- variation of both frequencies f_1 and f_2 while keeping the frequency difference $f_2 - f_1 = \text{const.}$

The method used shall be stated with the results.

22.2 Modulation distortion

22.2.1 Conditions to be specified

NOTE 1 For information, see Annex F.

The modulation distortion measured in the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$ while exciting the DUT under normal measurement conditions shall be specified as the ratio between the arithmetic sum of the RMS values of the n^{th} -order intermodulation component and the RMS value of the fundamental component at excitation frequency f_2 .

The properties of the stimulus $u(t)$ including the frequencies f_1 and f_2 , the total measurement time T_s , and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.

NOTE 2 The modulation distortion evaluates intermodulation components that are generated either by phase modulation (e.g. Doppler effect) or amplitude modulation (e.g. nonlinear force factor characteristic $Bl(x)$).

22.2.2 Method of measurement

- The DUT shall be excited by the two-tone stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x_t(t)$ in accordance with 8.4 and 17.2. The measurement shall be performed after exciting the DUT during a pre-excitation time T_{pre} ensuring a steady-state condition of the DUT.
- The sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ is measured at the measurement point $\mathbf{r}$ under normal measurement conditions in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point $\mathbf{r}$ is the evaluation point $\mathbf{r}_e$.
- A spectral analysis of the sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ shall be performed to determine the RMS value of the n^{th} -order intermodulation distortion components $\tilde{p}(f_2 \pm (n-1)f_1)$ at sum and difference frequencies and the RMS value of the fundamental component $\tilde{p}(f_2)$ at the excitation frequency f_2 .
- The 2nd-order modulation distortion shall be calculated by the following formula:
in percentage:

$$IMD_2(f_1, f_2) = \frac{\tilde{p}(f_2 - f_1) + \tilde{p}(f_2 + f_1)}{\tilde{p}(f_2)} 100\%$$

in decibels:

$$L_{2IMD}(f_1, f_2) = 20 \lg \left(\frac{IMD_2(f_1, f_2)}{100\%} \right)$$

e) The 3rd-order modulation distortion shall be calculated by the following formula:

in percentage:

$$IMD_3(f_1, f_2) = \frac{\tilde{p}(f_2 - 2f_1) + \tilde{p}(f_2 + 2f_1)}{\tilde{p}(f_2)} 100\%$$

in decibels:

$$L_{3IMD}(f_1, f_2) = 20 \lg \left(\frac{IMD_3(f_1, f_2)}{100\%} \right)$$

f) The total modulation distortion shall be calculated by the following formula considering only intermodulation components up to 3rd-order:

in percentage:

$$IMD_T(f_1, f_2) = \frac{\sum_{k=1}^2 \tilde{p}(f_2 - kf_1) + \tilde{p}(f_2 + kf_1)}{\tilde{p}(f_2)} 100\%$$

in decibels:

$$L_{TIMD}(f_1, f_2) = 20 \lg \left(\frac{IMD_T(f_1, f_2)}{100\%} \right)$$

NOTE The normalization of the intermodulation components to the RMS value $\tilde{p}(f_2)$ of the fundamental at frequency f_2 (consistent with standard IEC 60268-2) reveals the modulation of the high-frequency carrier while suppressing the influence of the linear transfer response from the loudspeaker nonlinearity (e.g. force factor) to the measurement point.

22.3 Amplitude modulation distortion

22.3.1 Conditions to be specified

The amplitude modulation distortion measured in the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$ while exciting the DUT under normal measurement conditions shall be specified as the ratio between the AC signal of the signal envelope and the DC signal of the envelope at excitation frequency f_2 .

The properties of the stimulus $u(t)$ including the frequencies f_1 and f_2 , the total measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.

NOTE Some loudspeaker nonlinearities (e.g. force factor $Bl(x)$) cause amplitude modulation distortions that are more audible than phase or frequency modulation distortion caused by other nonlinearities (e.g. Doppler effect).

22.3.2 Method of measurement

- a) The DUT shall be excited by the two-tone stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x_t(t)$ in accordance with 8.4 and 17.2. The measurement shall be performed after exciting the DUT during a pre-excitation time T_{pre} ensuring a steady-state condition of the DUT.
- b) The sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ is measured at the measurement point $\mathbf{r}$ under normal measurement conditions in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point $\mathbf{r}$ is the evaluation point $\mathbf{r}_e$.
- c) A spectral analysis of the sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ shall be performed to separate difference and sum intermodulation distortion components $\underline{P}(f_2 \pm (n-1)f_1)$ and the fundamental component $\underline{P}(f_2)$.
- d) The envelope $E(t)$ of the high-frequency fundamental component $\underline{P}(f_2)$ and the intermodulation components $\underline{P}(f_2 \pm (n-1)f_1)$ is calculated by using an analytic signal generated by the Hilbert Transform.
- e) The mean value of the envelope

$$\bar{E} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} E(t) dt$$

is calculated by averaging over one period $T_1 = 1/f_1$ of the low frequency tone f_1 .

- f) Amplitude modulation distortion is calculated by the relative variation of the envelope of the high-frequency signal f_2 :
in percentage:

$$AMD(f_1, f_2) = \frac{\sqrt{\frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} (E(t) - \bar{E})^2 dt}}{\bar{E}} * 100\%$$

in decibels:

$$L_{AMD}(f_1, f_2) = 20 \lg \left(\frac{AMD(f_1, f_2)}{100} \right)$$

NOTE The amplitude modulation distortion is comparable to the total intermodulation distortion as defined in f). If the distortion values are on the same order of magnitude, the amplitude modulation (e.g. caused by force factor $Bl(x)$) is dominant and frequency modulation (e.g. caused by Doppler Effect) is negligible.

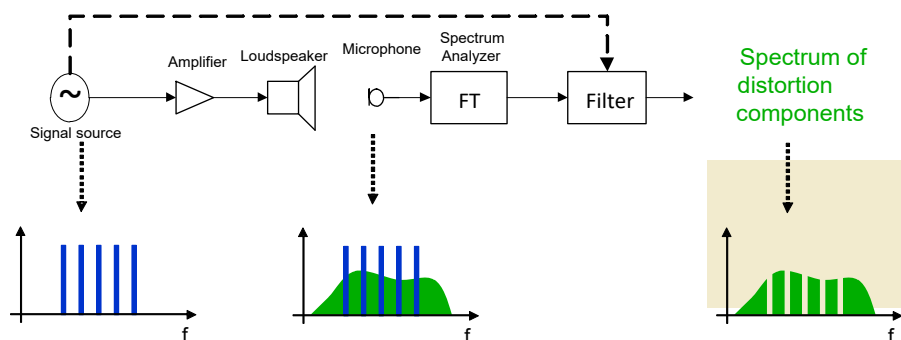
23 Multi-tone distortion

NOTE For information, see Annex F.

23.1 Conditions to be specified

The level of the multi-tone distortion spectrum $MDS(f)$ measured in the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$ comprising components at frequencies $f \neq f_i$ that are not excited by the multi-tone complex $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{ref}} x_m(t)$ in accordance with 17.2.

NOTE The multi-tone stimulus can be used to simulate the steady-state properties of music and other audio signals allowing the assessment of both harmonic and intermodulation distortion components [24] as illustrated in Figure 4.



IEC

Figure 4 – Measurement of the distortion generated by a multi-tone stimulus

23.2 Method of measurement

- a) The device under test shall be excited by the multi-tone stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{ref}} x_m(t)$ in accordance with 8.5. The following properties of the stimulus shall be stated:
 - RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{ref}}$ or the scaling factor α ;
 - pre-excitation time T_p (generating steady-state conditions);
 - measurement time T_M (including repetition of the stimulus for averaging);
 - total number N of excited frequency lines;
 - starting frequency f_{start} ;
 - resolution R (number of excited lines per octave);
 - length T of the multi-tone complex;
 - spectral shaping function $U(f)$ applied to the stimulus (if used).
- b) The sound pressure signal $p(t)$ is measured at the measurement point $\mathbf{r}$ under normal measurement condition in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point $\mathbf{r}$ is the evaluation point $\mathbf{r}_e$.
- c) The multi-tone distortion spectrum $MDS(f)$ at frequencies $f \neq f_i$ that are not excited by the fundamentals shall be determined and expressed in dB.

The multi-tone distortion spectrum $MDS(f)$ can be compared with the spectrum of the fundamental components. To simplify the interpretation, it is recommended to smooth the multi-tone distortion spectrum $MDS(f)$ and to calculate a relative distortion metric as proposed by Voishvillo [24].

24 Impulsive distortion

24.1 Impulsive distortion level

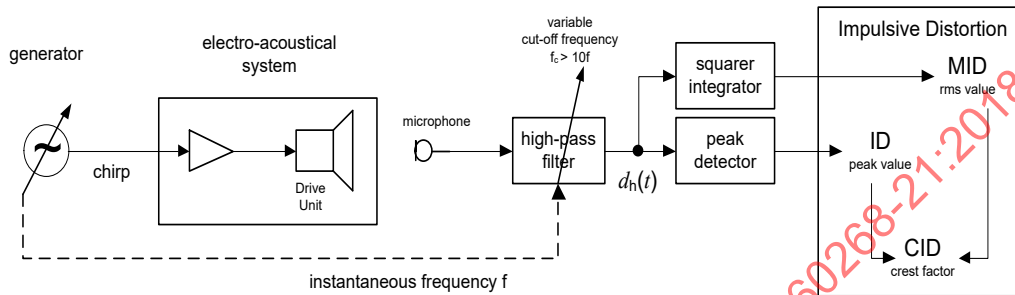
24.1.1 Conditions to be specified

The impulsive distortion level $ID(f(t))$ measured in the sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$, the properties of the sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ and the properties of the high-pass filter shall be stated.

NOTE Voice coil rubbing, buzzing, air leakage noise, loose particles and other irregular loudspeaker defects generate impulsive distortions covering a wide frequency range with low spectral energy close to the noise level [26]. By exploiting amplitude and phase information of harmonically and non-harmonically related distortion components, the impulsive distortion level $ID(f(t))$ provides maximum sensitivity for all loudspeaker defects with deterministic and random properties as described in Annex F.

24.1.2 Method of measurement

- The DUT shall be excited by the stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x_c(t)$ using a chirp signal $x(t)$ in accordance with 8.2. The measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ or the scaling factor α shall be stated.
- The sound pressure signal $p(t)$ is measured at the measurement point r under normal measurement conditions in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point r is the evaluation point r_e .



IEC

Figure 5 – Measurement of impulsive distortion

- The impulsive distortion time signal $d_h(t)$ shall be generated by high-pass filtering of the measured sound pressure signal $p(t)$ as shown in Figure 5. The cut-off frequency $f_c(t)$ of the high-pass filter or alternative analysis methods shall be stated by the manufacturer. It is recommended to use a cut-off frequency $f_c(t)$ which is significantly higher than the instantaneous frequency $f(t)$ of the chirp. Alternative techniques used for separating the impulsive distortion signal in the time domain shall be stated by the manufacturer.
- The peak level of the impulsive time signal

$$ID(f(t)) = 20 \log_{10} \left(\frac{\max \left(|d_h(t)| \right)}{p_0} \right)$$

shall be determined within one period $T = 1/f(t)$ of the instantaneous frequency and expressed in decibels by using the standard reference sound pressure ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

24.2 Maximum impulsive distortion ratio

24.2.1 Conditions to be specified

The maximum impulsive distortion ratio IDR measured in the sound pressure signal $p(t, r)$ at the measurement point r , the properties of the sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ and the properties of the high-pass filter shall be stated.

24.2.2 Method of measurement

- The impulsive distortion level $ID(f(t))$ of the electro-acoustical system is measured within the frequency range in accordance with 24.1. The frequency range corresponds to the rated frequency range in accordance with Clause 16 unless stated otherwise.
- The mean value of the sound pressure level SPL_{mean} in the stated frequency range is measured in accordance with 18.8.
- The maximum level of the impulsive distortion is determined within the stated frequency range $f_l < f < f_u$ and the impulsive distortion ratio is calculated with the following equation:

$$IDR = \max_{f_1 < f < f_u} (ID(f)) - SPL_{\text{mean}}$$

24.3 Mean impulsive distortion level

24.3.1 Conditions to be specified

The mean impulsive distortion level $MID(f(t))$ measured in the sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$, the properties of the sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{ref}} x(t)$ and the properties of the high-pass filter shall be stated.

NOTE The mean impulsive distortion level $MID(f)$ neglects the phase information of higher-order harmonics and other random distortion components and does not assess the waveform of impulsive distortion as described in Clause F.3.

24.3.2 Method of measurement

- The DUT shall be excited by the stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x_c(t)$ using a chirp signal $x(t)$ in accordance with 8.2. The measurement time T_s and either the RMS value $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ or the scaling factor α shall be stated.
- The sound pressure signal $p(t)$ is measured at the measurement point $\mathbf{r}$ under normal measurement conditions in accordance with 7.3. If not stated otherwise, the measurement point $\mathbf{r}$ is the evaluation point $\mathbf{r}_e$.
- The impulsive distortion time signal $d_h(t)$ shall be generated by high-pass filtering of the measured sound pressure signal $p(t)$. The cut-off frequency $f_c(t)$ of the high-pass filter or alternative analysis methods shall be stated by the manufacturer. It is recommended to use a cut-off frequency $f_c(t)$ that is significantly higher than the instantaneous frequency $f(t)$ of the chirp.
- The RMS value of the impulsive distortion time signal $d_h(t)$ is calculated within one period $T = 1/f(t)$ of the instantaneous frequency. The mean impulsive distortion level

$$MID(f) = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_0^{1/f} d_h^2(t) dt}{p_0^2} \right)$$

shall be expressed in decibels relative to the standard reference sound-pressure ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

24.4 Crest factor of impulsive distortion

24.4.1 Conditions to be specified

The crest factor of impulsive distortion $CID(f)$ measured in the sound pressure signal $p(t, \mathbf{r})$ at the measurement point $\mathbf{r}$, the properties of the sinusoidal stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ and the properties of the high-pass filter shall be stated.

NOTE The crest factor of the impulsive $CID(f)$ is a relative measure exploiting the phase information of the distortion components. The amplitude information is suppressed. Most loudspeaker defects generate impulsive distortion with a high crest factor ($CID > 12 \text{ dB}$). Noise and motor and suspension nonlinearities (e.g. force factor $Bl(x)$, stiffness $Kms(x)$) generate a CID that is less than 12 dB.

24.4.2 Method of measurement

- The impulsive distortion level $ID(f(t))$ of the electro-acoustical system is measured within the stated frequency range in accordance with 24.1. The frequency range corresponds to the rated frequency range in accordance with Clause 16 unless stated otherwise.

- b) The mean impulsive distortion level $MID(f(t))$ of the DUT is measured within the stated frequency range in accordance with 24.3.
- c) The crest factor of the impulsive distortion is calculated as follows:

$$CID(f) = ID(f) - MID(f)$$

25 Stray magnetic fields

25.1 General

It is sometimes necessary to know the value of the magnetic field generated by the DUT in order to prevent interference with other nearby components such as television and video components, computer devices, aircraft on-board instrumentation, medical devices such as pacemakers.

25.2 Static component

25.2.1 Characteristic to be specified

The maximum value of the static magnetic field strength in amperes per metre, produced by the magnet system of the loudspeaker at 30 mm from any part (or associated parts) of its rear side, or from any part of its enclosure, when no audio signal is applied shall be specified. The static component (H) can also be measured as the magnetic induction; in that case, the measured value shall be converted into ampere per metre using the following relation:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

where

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ is the magnetic permeability of vacuum/air;

B is the magnetic flux density in Tesla.

25.2.2 Method of measurement

- a) The static magnetic flux shall be measured using a Hall (or other suitable type) probe flux meter. A non-magnetic holder (wood or plastic, for example) shall be fitted onto the probe to control the measuring distance from the loudspeaker under test, as shown in Annex G.
- b) Before starting the measurement, it is necessary to set the instrument to zero as instructed by the manufacturer, in order to remove the influence of the Earth's magnetic field. To do this, the Hall probe fixture shown in Figure G.1 shall be properly oriented and fixed to null the indication due to the Earth's magnetic field. Care shall be taken to exclude any magnetic material from the measuring area, which shall exhibit a low and uniform ambient magnetic field.
- c) When the Hall probe is properly oriented, the loudspeaker under test shall be moved about the Hall probe holder to obtain the highest measured value. Measurement may also be made by changing the position and orientation of the Hall probe instead of changing that of the loudspeaker. If the positioning of the Hall probe is used, the measuring space shall not exhibit any external magnetic influence that exceeds 1/10 of the magnetic field strength to be measured.
- d) The highest measured value of magnetic field strength expressed in ampere per metre shall be recorded as the result.

The report shall include the position and orientation for the maximum values with respect to the reference plane and the reference point of the loudspeaker. This information can be shown in a diagram.

25.3 Dynamic components

25.3.1 Characteristics to be specified

Maximum values of both static and alternating components of the magnetic field strength in A/m created by the loudspeaker and associated parts at a measuring distance of 30 mm, when the loudspeaker is driven at its rated noise voltage of simulated programme signal in accordance with IEC 60268-1, shall be specified.

Both static and alternating components shall be specified. The rated noise voltage shall be stated with the results.

25.3.2 Method of measurement

- a) During the measurement, the loudspeaker to be tested shall be electrically driven by the simulated programme signal in accordance with IEC 60268-1 generating the rated maximum sound pressure level SPL_{max} in accordance with 18.2.
- b) The static and alternating components shall be measured using a Hall effect probe flux meter (or other suitable type with measuring range up to 10 000 Hz) while alternating component measurement is possible with the standard search coil in accordance with IEC 60268-1. A non-magnetic holder (wood or plastic, for example) shall be fitted onto the probe to control the measuring distance from the loudspeaker under test as in 25.2.2.
- c) For a static component, the measuring procedure shall be the same as described in 25.2.2b).
- d) For an alternating component, before starting the measurement, the Hall effect probe (or search coil) fixture shall be oriented so that no external influence can reach 1/10 of the alternating component to be measured, within the measuring frequency band. Care shall be taken to remove any electromagnetic influence from the measuring area that can degrade the required measuring accuracy.
- e) When the magnetic probe is properly oriented, the loudspeaker under test shall be applied against the magnetic probe holder, in any possible position, until the highest measured value is found. Measurement can also be made by changing the position and orientation of the Hall effect probe instead of changing that of the loudspeaker. In this case, the measuring area shall not exhibit any external magnetic influence which exceeds 1/10 of the magnetic field strength to be measured.
- f) The highest measured values of the static component and of the alternating component of the magnetic field strength expressed in ampere per metre shall be recorded as the results.

The report shall include the position and orientation of the maximum values with respect to the reference plane and the reference point of the loudspeaker. This information can be shown in a diagram.

Annex A (informative)

Uncertainty analysis

Although calibration of the measurement system minimizes the effects of bias errors, random errors will still remain. The maximum permitted uncertainty due to these random errors is found by first determining the standard uncertainty for each source of measurement error. These standard uncertainties may be computed, estimated, extracted from the manufacturer's calibration data or determined empirically from a statistically significant number of similar measurements. The values are generally given in dB and therefore are converted into linear units expressed as percentages. The square root of the sum of squared linear values is the total standard uncertainty. The maximum permitted uncertainty, U_{MAX} , which is usually expressed in dB, is twice the total standard uncertainty, as illustrated in Figure A.1. This yields an expanded uncertainty with a coverage factor of $k = 2$ (equivalent to 2σ or a probability of approximately 95 %).

NOTE The actual maximum permitted uncertainty is calculated for the specific measurement conditions where the calculated uncertainty applies to the measurement itself, not to any uncertainty or variability in the device under test. Detailed information regarding measurement uncertainty can be found in ISO/IEC Guide 98-3.

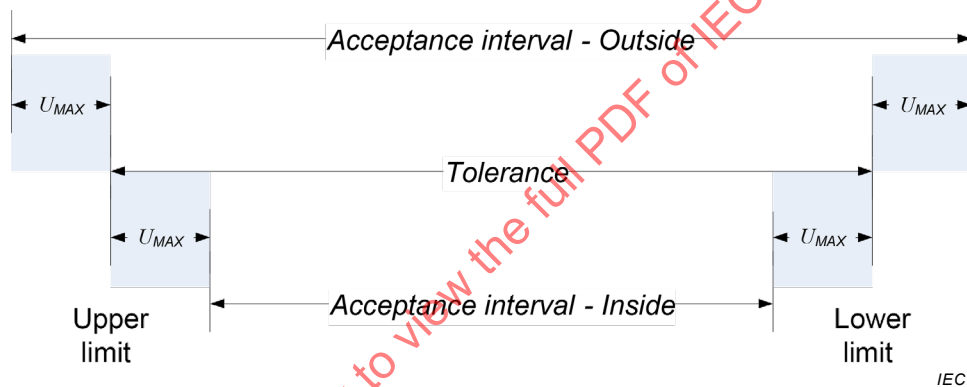


Figure A.1 – Relationship between tolerance limits, corresponding acceptance intervals and the maximum permitted uncertainty of measurement, U_{MAX} .

Table A.1 illustrates the uncertainty budget analysis for the measurement of the sound pressure output generated by a loudspeaker under free-field conditions at a distance of $r_e = 1$ m.

Table A.1 – Example uncertainty budget – acoustical loudspeaker evaluation

Component	Standard uncertainty [in dB]	U^2 (in % ²)
Generator accuracy To enable harmonic distortion measurements to 0,1 %, the generator distortion are < 0,05 %. This is equivalent to a standard uncertainty of 0,043 dB.	0,043	0,250 00
Microphone The uncertainty of a working standard microphone as per the standards and quoted on its calibration certificate is 0,1 dB with a coverage factor of $k = 2$. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,1/2 = 0,05$ dB.	0,05	0,333 28
Microphone preamplifier The manufacturer quotes the preamp to be within $\pm 0,02$ dB with a 95 % probability or 2σ . This is equivalent to a standard uncertainty of $0,02/2 = 0,01$ dB.	0,01	0,013 27
Analysis system / RMS detector Typical measurement system detector accuracy is 0,1 dB with a coverage factor of $k = 2$. This is equivalent to a standard uncertainty of $0,1/2 = 0,05$ dB.	0,05	0,333 28
Positioning The error in positioning the microphone should be limited to $\pm 0,5$ cm. Relative to 1 m, this is equivalent to a standard uncertainty of 0,04 dB.	0,04	0,250 00
Total standard uncertainty	$\sqrt{\sum U^2}$	1,086 20

 $U_{\text{MAX}} (k = 2)$

2,17 %

0,19 dB

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

Annex B (normative)

Transducer mounting

B.1 Standard baffle

The standard baffle shall be made with a plane front surface that is acoustically reflecting. It shall be of a material with adequate thickness to ensure negligible vibration. The baffle shall have the dimension of Figure B.1. The edge of the radiating element shall be substantially flush with the front surface of the baffle. This may be achieved by means of a chamfer as shown in Figure B.2 or by using a driver mounting plate (sub-baffle) as shown in Figure B.3. The preferred mounting plate is flush with the surface of the baffle, however, the outside surface of the mounting plate may extend beyond the baffle's surface up to 0,75 mm, as shown in Figure B.3. Any non-flush mounting condition shall be stated. The mounting of tweeters and other transducers operating at higher frequencies may require a customized solution, which shall be stated by the manufacturer.

Dimensions are in millimetres

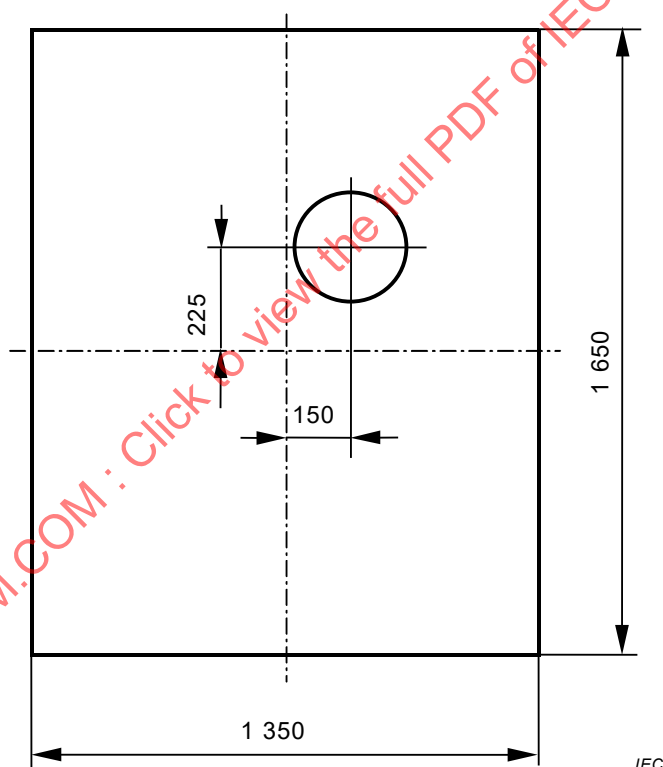


Figure B.1 – Standard baffle, dimensions

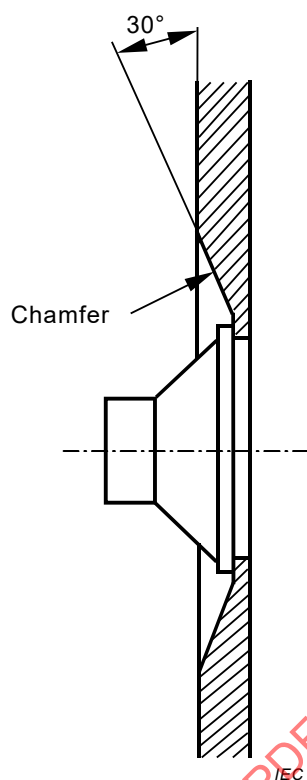


Figure B.2 – Standard baffle with chamfer

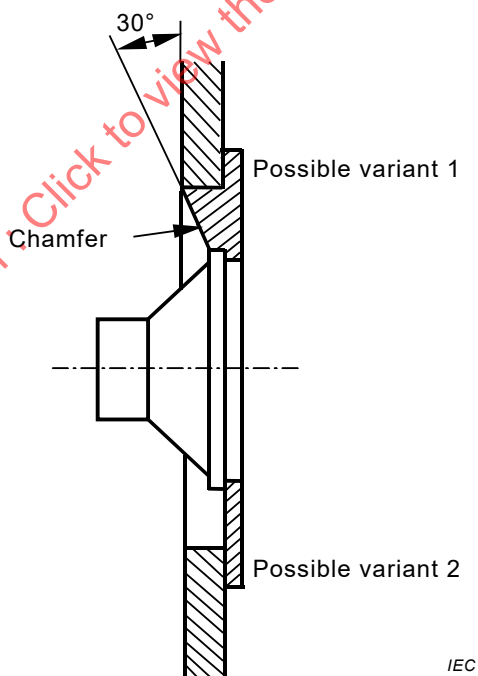


Figure B.3 – Standard baffle with sub-baffle

B.2 Standard measuring enclosures

B.2.1 General

One of the two types of standard measuring enclosures specified in Figure B.4 and Figure B.5 shall be used. The type chosen for testing shall be stated by the manufacturer. A standard measuring enclosure shall meet the following conditions:

- The enclosure shall have plane or curved surfaces that have an acoustically reflective characteristic. The material shall be appropriately thick so that the effect of vibrations can be disregarded for measurement. If necessary, braces shall be used for reinforcement between facing surfaces at or around their centres so as to avoid panel vibrations.
- The enclosure shall be airtight.
- The edge of the loudspeaker shall be, in principle, set on the same plane as that of the front part of the baffle.
- To remove standing waves, which may otherwise occur in the enclosure, an appropriate sound absorbing material shall be used. Handles or joints may be installed if their effect on acoustical reflections and undesired vibrations can be ignored.

B.2.2 Type A

The dimensions of standard measuring enclosure type A shall be as shown in Figure B.4.

NOTE All the surfaces of these types of enclosures are plane and the joints of the surfaces are made at right angles. No change in size is allowed. This causes the diffraction characteristic to be repeatable. Correction curves for the standard measuring enclosure can be determined at a measuring distance of 1 m on the reference axis from free-field to half-space free-field condition. Type A is useful when analyzing, studying or comparing the characteristics of transducers in detail.

Dimensions are in millimetres

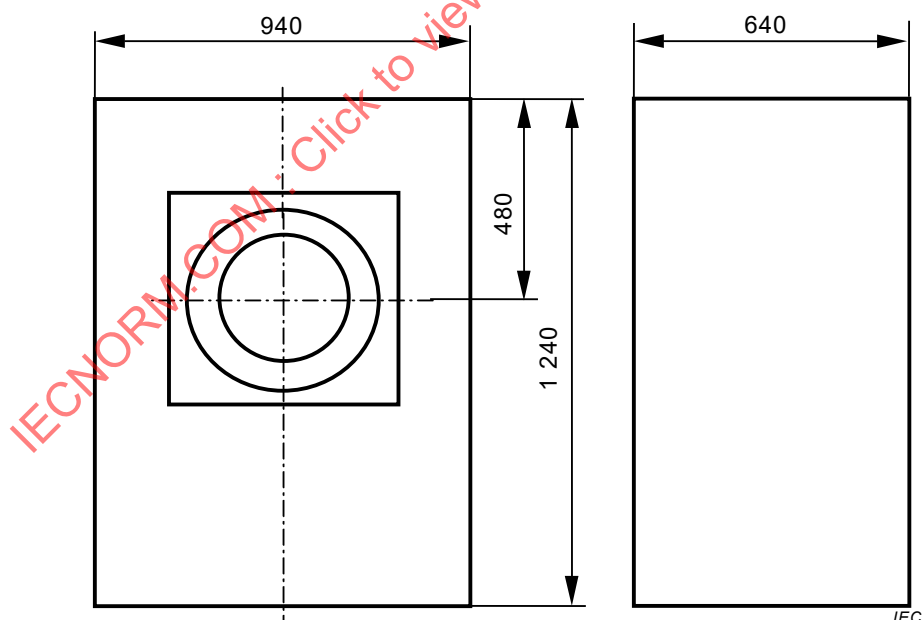


Figure B.4 – Standard measuring enclosure type A (net volume is about 600 l)

B.2.3 Type B

The dimensions of standard measuring enclosure type B shall be as shown in Figure B.5.

If a smaller or larger measuring enclosure of type B is required, proportional scaling shall be applied and the outer dimension shall be stated. Correction curves for the standard measuring enclosure shall be determined at a measuring distance of 1 m on the reference axis from free-field to half-space free-field condition.

Dimensions are in millimetres

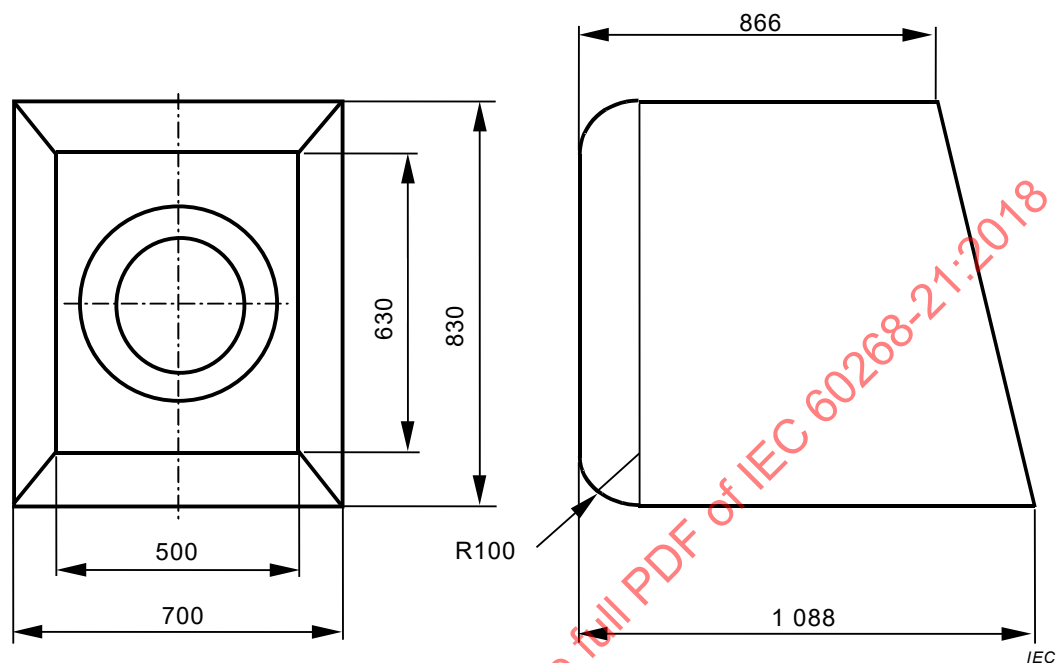


Figure B.5 – Standard measuring enclosure type B (net volume is about 450 l)

Annex C (normative)

Simulated programme signal

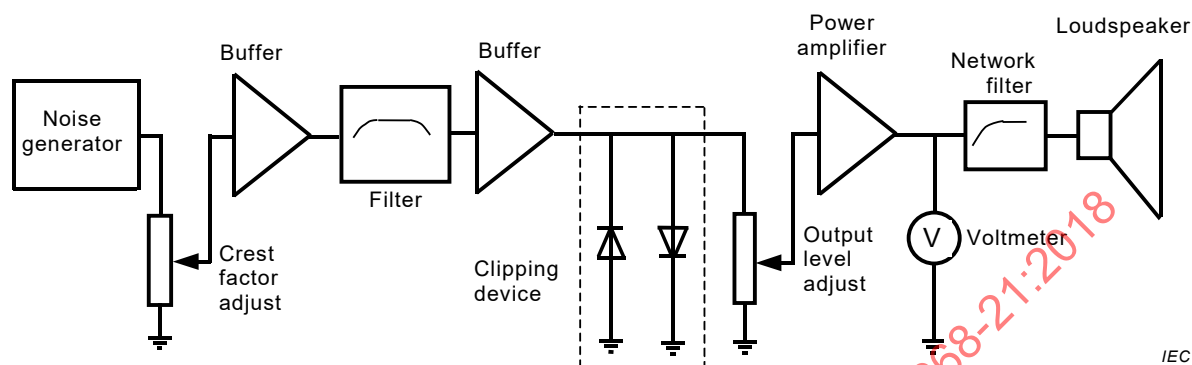


Figure C.1 – Block diagram of test setup for generating the simulated noise signal used for testing passive loudspeaker systems comprising a network filter

In passive loudspeaker systems consisting of a passive network (crossover), the maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ is applied to the voltage at the input of the network. The maximum input value $\tilde{u}_{\max}$ shall be applied to the transducer terminals if they are accessible in active systems. The simulated programme signal can also be generated by a digital implementation of the network shown in Figure C.1. However, instead of the noise generator, it is recommended to use a sparse multi-tone signal in accordance with 8.5, which allows the measurement of nonlinear distortion produced by an audio-like signal. Changing the free parameters a , c and the start value n_0 (seed) in the pseudo-random generation algorithm creates the desired crest factor without using a clipping device, resulting in a desirable bell-shaped probability density function. The transfer function of the filter shall be reported. The power spectrum of simulated programme signal as listed in Table C.1 can be used if applicable for the particular target application.

Table C.1 – Power spectrum of simulated programme signal in 1/3 octave bands rated

Frequency (Hz)	IEC 60268-1	
	Relative level (dB)	Tolerance (dB)
5		
6,3		
8		
10		
12,5		
16		
20	-13,5	±3,0
25	-10,2	±2,0
32	-7,4	±1,0
40	-5,2	±1,0
50	-3,5	±1,0
63	-2,3	±1,0
80	-1,4	±1,0
100	-0,9	±0,8
125	-0,5	±0,6
160	-0,2	±0,5
200	-0,1	±0,5
250	0	±0,5
315	0	±0,5
400	0	±0,5
500	0	±0,5
630	0	±0,5
800	0	±0,5
1 000	-0,1	±0,6
1 250	-0,3	±0,7
1 600	-0,6	±0,8
2 000	-1,0	±1,0
2 500	-1,6	±1,0
3 150	-2,5	±1,0
4 000	-3,7	±1,0
5 000	-5,1	±1,0
6 300	-7,0	±1,0
8 000	-9,4	±1,0
10 000	-11,9	±1,0
12 500	-14,8	±1,5
16 000	-18,2	±2,0
20 000	-21,6	±3,0

Annex D (informative)

Rating the maximum input and output values

According to 17.1.2 a) to e) and 18.1.2 a) to e), the test values $\tilde{u}_{\text{test}}$ and $\tilde{p}_{\text{test}}$ have to be defined and verified in a 100 h test before these test values can be assigned to the rated maximum input value $\tilde{u}_{\text{max}}$ and maximum output value $\tilde{p}_{\text{max}}$, respectively.

The test values $\tilde{u}_{\text{test}}$ and $\tilde{p}_{\text{test}}$ may be initially chosen as a target value by the manufacturer at the beginning of the development or may be determined by assessing the performance of the electro-acoustical device by considering the particular target application (e.g. in-home loudspeakers as per CTA 2034-A). This is a complex procedure where the following measurement conditions and test criteria should be taken into consideration:

- a) The rated frequency range, in accordance with Clause 16, should be defined according to the intended application.
- b) The spectral and temporal properties of the typical programme material, such as long-term spectrum and crest factor (which may be similar or different to the simulated programme signal in Annex C)
- c) The acoustical environment conditions of the target application, in accordance with 9.7, should be defined.
- d) The measurement of the long-term compression, in accordance with 19.4, at frequencies above fundamental resonance with increasing amplitude of the stimulus reveals the effect of the varying DC resistance of the heated voice coil. This effect can be evaluated by comparing the decrease in sound pressure amplitude to a predefined threshold T_C ($1 < T_C < 5$ dB). The test values limiting factors will depend on the ability of the materials used in the voice coil, diaphragm and magnet to withstand high temperatures.

NOTE 1 CTA 2034-A describes in greater detail the measurement of the long-term compression for in-home loudspeakers with a threshold $T = 3$ dB. A higher threshold can be used for professional loudspeakers and a much smaller threshold is required for micro-speakers used in personal audio devices.

- e) The measurement of the short-term compression of the fundamental component, in accordance with 19.3, reveals the mechanical limiting due to suspension and motor nonlinearities, which corresponds to the generation of high values of total harmonic distortion (THD) as per 21.3. The definition of a permissible threshold depends highly on the fundamental resonance frequency and the target application. For example, a significant reduction of the fundamental component along with high values of the harmonic components may be tolerated or perceived as an interesting effect in subwoofers. However, this effect is usually not beneficial in transducers that have higher resonance frequencies (e.g. midrange transducers, microspeakers).
- f) The measurement of the impulsive distortion level, in accordance with Clause 24, assess higher-order harmonics and non-harmonically related transients in the sound pressure output that are generated by all kinds of transducer defects. The coincidence of having a maximum impulsive distortion ratio IDR ($IDR > 1$ %) with a high crest factor CID ($CID > 12$ dB) indicates a significant loudspeaker defect, which limits the maximum sound pressure output.

NOTE 2 For detecting bottoming and other deterministic defects that generate symptoms of relative high energy, CTA 2034-A suggests harmonic thresholds up to the 15th order. However, this technique cannot reliably detect symptoms of other critical defects possessing random and impulsive properties that degrade sound quality and eventually become worse over time, damaging the transducer.

- g) The multi-tone distortion measurement, according to Clause 23, reveals all kinds of nonlinear harmonic and intermodulation distortion generated by a broadband audio-like signal. The multi-tone measurement is the fastest and simplest way to assess the nonlinear properties of the motor, suspension and radiator. The definition of a meaningful threshold TM ($-40 \text{ dB} < TM < 20 \text{ dB}$) for the distance between the distortion components $MDS(f)$ and the fundamental components depends on the expected sound quality of the product.

NOTE 3 CTA 2034-A determines the maximum output of in-home loudspeakers by considering harmonic distortion only. However, the intermodulation distortion generated between multiple frequency components is usually much greater than the harmonic distortion produced above the resonance frequency. This is especially noticeable in the amplitude modulation distortion measured in accordance with 22.3, which is perceived as an unpleasant fluctuation and roughness in the reproduced sound requiring a compromise between sound quality, cost, size and weight of the audio device.

- h) The time-varying properties of the transducer, which become evident after break-in, aging/fatigue of the mechanical suspension and climate influences.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

Annex E (informative)

Spherical wave expansion

E.1 Coefficients of spherical wave expansion

A DUT having the largest geometrical dimension d generates a far field at the distance $|\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}| \gg d$, which can be described by a superposition of spherical waves. The coefficients

$$\mathbf{C}(f) = [\underline{c}_{0,0}(f) \quad \dots \quad \underline{c}_{n,m}(f) \quad \dots \quad \underline{c}_{N(f),N(f)}(f)]$$

of the spherical wave expansion of order $N(f)$ depending on frequency f describe the transfer function

$$\begin{aligned} \underline{H}(f, \mathbf{r}) &= \mathbf{C}(f) \mathbf{B}(f, \mathbf{r}) \\ &= \sum_{n=0}^{N(f)} \sum_{m=-n}^n \underline{c}_{n,m}(f) h_n^{(2)} \left(\frac{2\pi f r}{c} \right) Y_n^m(\theta, \phi) \end{aligned}$$

between the input signal $u(t)$ and the sound pressure output $p(t, \mathbf{r})$ at point $\mathbf{r}$ at a distance $r = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}|$ from the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$, which is larger than the validity radius a in accordance with 20.2.3.

The spherical harmonics

$$Y_n^m(\theta, \phi)$$

show the dependency versus azimuthal angle ϕ and polar angle θ , and the Hankel functions of the second kind

$$h_n^{(2)} \left(\frac{2\pi f r}{c} \right)$$

describe the dependency in radial direction for an outgoing wave radiated from the reference point $\mathbf{r}_{\text{ref}}$.

The region of validity are defined by specifying the space (2π -half space or 4π -full space) of expansion and the radius a of the sphere, which is outside of the scanning surface S_s .

E.2 Directional factor

$$\Gamma(f, \theta, \phi) = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\underline{H}(f, r, \theta, \phi)}{\underline{H}(f, r, \theta_r, \phi_r)} = \frac{\sum_{n=0}^{N(f)} \sum_{m=-n}^n \underline{c}_{n,m}(f) i^{n+1} Y_n^m(\theta, \phi)}{\sum_{n=0}^{N(f)} \sum_{m=-n}^n \underline{c}_{n,m}(f) i^{n+1} Y_n^m(\theta_r, \phi_r)}$$

is the ratio between the transfer function $H(f, r, \phi, \theta)$ at any azimuthal angle ϕ and polar angle θ to the transfer function $H(f, r, \phi_r, \theta_r)$ on the reference axis defined by reference angles ϕ_r, θ_r with the complex operator $i = \sqrt{-1}$.

E.3 Directivity factor

The directivity factor is calculated by

$$Q(f) = 4\pi \frac{\left| \sum_{n=0}^{N(f)} \sum_{m=-n}^n c_{n,m}(f) i^{n+1} Y_n^m(\theta=0, \varphi=0) \right|^2}{\sum_{n=0}^{N(f)} \sum_{m=-n}^n |c_{n,m}(f)|^2}$$

E.4 Acoustic output power

The acoustic output power in a defined frequency band at centre frequency f is calculated by

$$\Pi(f) = \frac{\tilde{u}(f)^2}{k^2 \rho c} \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n |c_{n,m}(f)|^2$$

using the coefficients $C(f)$ of the wave expansion and the RMS value $\tilde{u}(f)$ of the input signal $u(t)$ in this band.

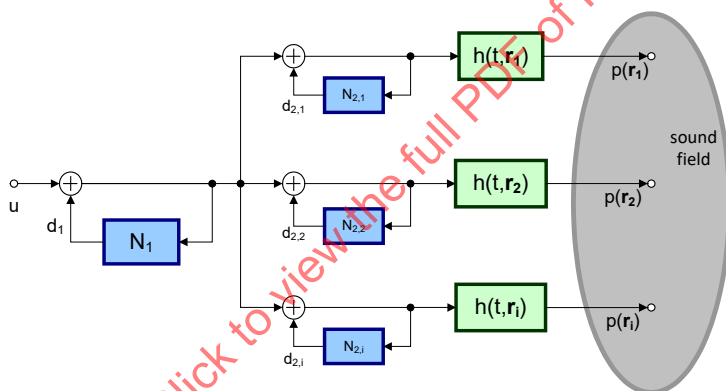
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

Annex F (informative)

Non-linearity

F.1 Equivalent harmonic input distortion

The equivalent harmonic input distortion (EHD) in the input signal $u(t)$ can be measured in the harmonic distortion in the sound pressure output $p(t, \mathbf{r}_i)$ at any measurement point $\mathbf{r}_i$ with $i = 1, \dots, N$. If the source of the harmonic distortion in the sound pressure output is located in the one-dimensional signal path close to the DUT's input (see nonlinear system N_1 in Figure F.), the same EHD will be found in every measurement point at all locations $\mathbf{r}_i$ in the sound field. The dominant transducer nonlinearities in the motor and suspension system can be represented by the single nonlinear system N_1 generating EHD in the one-dimensional signal path. If there are nonlinear sources located in the multi-dimensional signal path (see $N_{2,1}$, $N_{2,2}$ in Figure F.), the EHD generated from these sources will be superimposed onto the respective EHD generated in the one-dimensional signal path. Therefore, if nonlinearities exist in the multi-dimensional signal path, the total EHD at each point $\mathbf{r}_i$ will depend on the points' positions in the sound field [25].



IEC

Figure F.1 – Signal flow chart of the electro-acoustical system

F.2 Two-tone intermodulation

Intermodulation distortion can easily be interpreted and it is a valuable diagnostic tool. The frequencies f_1 and f_2 of the two-tone stimulus are carefully selected to measure intermodulation distortion. The possible combinations of the frequency settings are represented as a two-dimensional frequency plane in Figure F.2. The condition $f_2 \gg f_1$ ensures that the intermodulation distortion components of f_2 will not interfere with the fundamental and harmonic components of f_1 . Shown as blue shaded areas in Figure F.2, the intermodulation distortion generated with a large ratio or difference between the two fundamentals reveals the nonlinear properties of the DUT. These nonlinear properties cannot be assessed by harmonics generated when $f_1 = f_2$, which is the black diagonal line shown in Figure F.2. A difference tone measurement using a small distance $f_2 - f_1$ provides similar information, as the harmonic components that are shown as white shaded areas along the black diagonal line in Figure F.2.

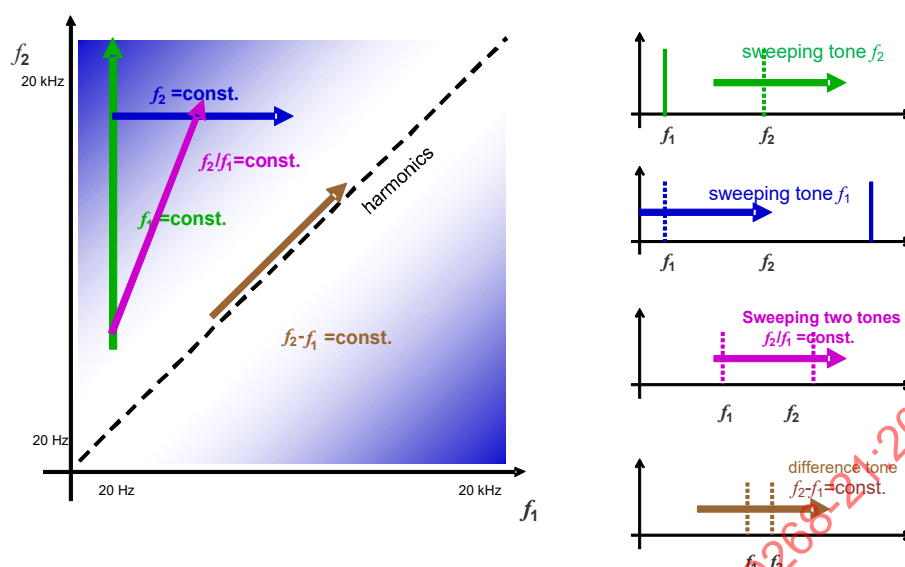


Figure F.2 – Variation of the frequencies of the two-tone stimulus in the intermodulation measurement

F.3 Signal distortion generated in audio systems

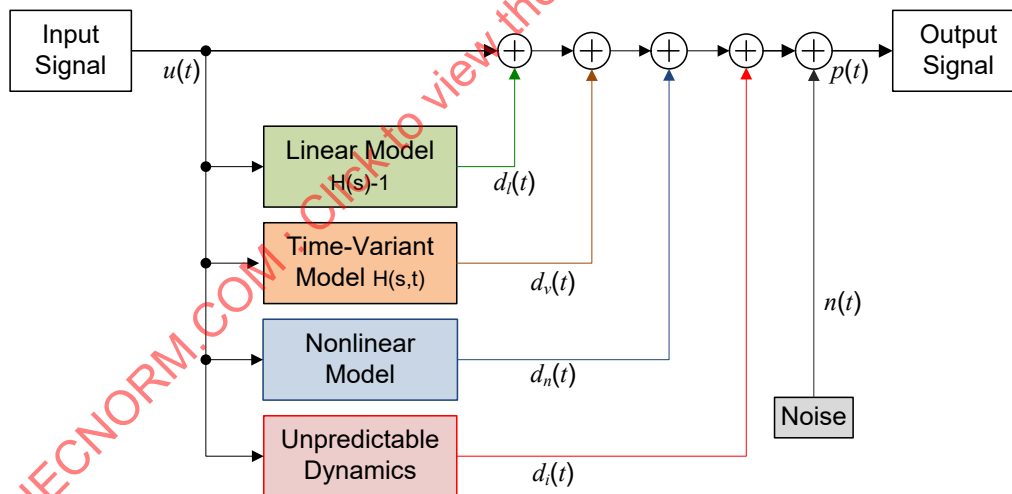


Figure F.3 – Generation of the signal distortion in audio systems

Figure F.3 shows a black box model comprising subsystems generating five different distortion components in the sound pressure output $p(t)$.

Besides the measurement noise $n(t)$, all other distortion signals depend on the input signal $u(t)$.

The linear subsystem with the transfer function $H(s)-1$ in Figure F.3 generates the linear distortion component $d_l(t)$, which represents the time-invariant deviation of the output signal from the input signal at small amplitudes.

The time variant subsystem in Figure F.3 generates a distortion signal $d_v(t)$, which is, like the linear distortion component $d_l(t)$, mathematically coherent with the input signal $u(t)$, but varies over time. Those distortions can be generated by voice coil heating, aging, fatigue and varying ambient conditions (climate influence). This distortion signal can be evaluated by the amplitude compression in accordance with 19.4.

The nonlinear system in Figure F.3 generates the nonlinear distortion signal $d_n(t)$ that represents the regular nonlinearities inherent in the motor, suspension and other loudspeaker parts, which are related to the geometry, material and other design criteria. This distortion signal $d_n(t)$ is mathematically incoherent with the input signal $u(t)$ but has deterministic properties, which can be shown by repeating the measurement. This distortion signal $d_n(t)$ can be evaluated by the measurement of harmonic, intermodulation and multitone distortion according to Clauses 21, 22 and 23.

The last subsystem in Figure F.3 generates the irregular distortion $d_i(t)$, which is not related to the design goals but is related to unpredictable nonlinear dynamics caused by overload and loudspeaker defects. Those distortions are also incoherent with the stimulus, but they usually have much less energy than the regular nonlinear distortion $d_n(t)$ and cannot be modelled due to the random nature of most defects. The distortion $d_i(t)$ also has a higher crest factor than the regular nonlinear distortion $d_n(t)$, which is a unique characteristic. The impulsive distortion $d_i(t)$ generates high-frequency components in the reproduced audio signal spectral, which are easily audible for a low-frequency stimulus and degrade the sound quality significantly.

The measurement of the higher-order harmonics in accordance with 21.5 evaluates the deterministic properties of the irregular distortion signal $d_i(t)$ only. Therefore, the characteristic *HOHD* cannot reliably detect loose particles and other random defects. To provide maximum sensitivity for all kind of defects, the measurement of the impulsive distortion in the time domain in accordance with Clause 24 is required.

Annex G (informative)

Stray magnetic field

Dimensions are in millimetres

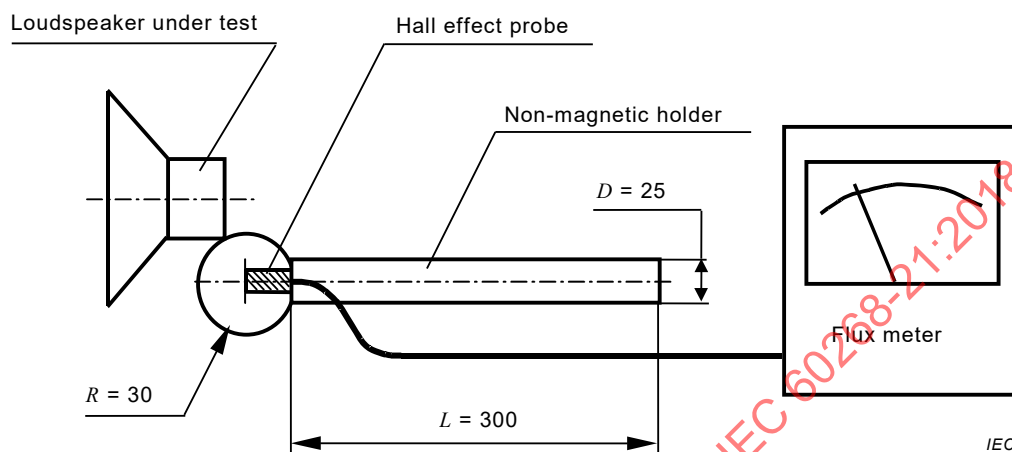


Figure G.1 – Measuring apparatus for stray magnetic field

Bibliography

- [1] IEC 60268-7:2010, *Sound system equipment – Part 7: Headphones and earphones*
- [2] P. J. Chapman, Ambient Atmospheric Conditions and their Influence on Acoustic Measurements, presented at the 136th convention of the Audio Eng. Soc., Berlin, Germany, April 26-29, 2014
- [3] D. Davis, The Modified Hopkins-Stryker Equation, J. Audio Eng. Society Vol. 32, Issue 11, Nov. 1984
- [4] Donald E. Knuth, The Art of Computer Programming, Bd. 2: Seminumerical Algorithms. 3. Addison-Wesley, 1998
- [5] Don Keele, Development of Test Signals for the EIA-426-B Loudspeaker Power Rating Compact Disk, presented at the 111th Convention of the Audio Engineering Society, New York (Sept. 2001)
- [6] M. Gander, Ground Plane Acoustic Measurements of Loudspeaker Systems, J. Audio Eng. Society Vol. 30, Issue 10, p. 723, 1982
- [7] C. Struck, S. Temme, "Simulated Free Field Measurement," J. Audio Eng. Society Vol. 42, Issue 6, pp. 467-482, June 1994
- [8] M. Melon, et. al. Measurement of subwoofers with the field separation method: comparison of p-p and p-v formulations, proceedings of the Acoustics 2012, Nantes Conference, 23-27 April 2012
- [9] E. G. Williams, Fourier Acoustics, Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography, Academic Press, 1999
- [10] L. L. Beranek, T. J. Mellow, Acoustics: Sound Fields and Transducers, Academic Press, 2012
- [11] R. Kessel, Predicting Far-field Pressures from Near-field Loudspeaker Measurements, presented at the 85th Convention of Audio Eng. Society, Nov. 1988, preprint number 2729
- [12] D. Keele, Low-Frequency Loudspeaker Assessment by Nearfield Sound-pressure Measurement, J. Audio Eng. Society Vol. 22, Issue 3, pp. 882-888, Dec. 1982
- [13] M. Vorländer, E. Mommertz, Definition and measurement of random-incidence scattering coefficients, Applied Acoustics Volume 60, Issue 2, 1 June 2000, Pages 187–199
- [14] P. J. Chapman, Quantifying Acoustic Measurement Tolerances and their Importance in the Loudspeaker Supply Chain, presented at the 136th convention of the Audio Eng. Soc., Berlin, Germany, April 26-29, 2014
- [15] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
- [16] G. Hill, Consistently Stable Loudspeaker Measurements Using a Tetrahedral Enclosure, Engineering brief presented at the 135th Convention of the Audio Eng. Soc. in New York 2013

- [17] Farina, Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Sept-Sine Technique, presented at the 108th Convention of Audio Eng. Society, February 2000, preprint number 5093
 - [18] R.C. Heyser, Loudspeaker Phase Characteristics and Time Delay Distortion: Part 1, J. Audio Eng. Soc., Vol. 17, No 1, pp. 30-41, January 1969
 - [19] W. Ahnert, S. Feistel, Sound Reinforcement Engineering, Fundamentals and Practice, London: E&FN Spon 2000. USA and Canada, New York: Routledge 2000
 - [20] M. Melon, et. al. , Comparison of Four Subwoofer Measurement Techniques, J. Audio Eng. Society Vol. 55, Issue 12, pp. 1077-1091, Dec. 2007
 - [21] Stefan Feistel, Modeling the Radiation of Modern Sound Reinforcement Systems in High Resolution, Logos-Verlag Berlin, 2014
 - [22] AES-51d-1997 (1998), Room acoustics and sound reinforcement systems – Loudspeaker modelling and measurement – Frequency and angular resolution for measuring, presenting and predicting loudspeaker polar data, Audio Engineering Society
 - [23] W. Klippel, Tutorial: Loudspeaker Nonlinearities – Causes, Parameters, Symptoms, J. Audio Eng. Society 54, No. 10 pp. 907-939 (Oct. 2006)
 - [24] Voishvillo, et. al. , Graphing, Interpretation, and Comparison of Results of Loudspeaker Nonlinear Distortion Measurements, J. Audio Eng. Society 52, No. 4 pp. 332-357 (Apr. 2004)
 - [25] W. Klippel, "Equivalent Input Distortion, J. Audio Eng. Society 52, No. 9 pp. 931-947 (Sept. 2004)
 - [26] W. Klippel, U. Seidel, Measurement of Impulsive Distortion, Rub and Buzz and other Disturbances, presented at the 114th convention of the Audio Eng. Soc. 2003, March 22-25, Amsterdam
 - [27] IEC 62777, *Quality evaluation method for the sound field of directional loudspeaker array system*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	84
INTRODUCTION.....	86
1 Domaine d'application	87
2 Références normatives	87
3 Termes, définitions et termes abrégés	88
3.1 Termes et définitions	88
3.2 Termes abrégés	88
4 Description du type.....	88
5 Caractéristiques physiques.....	88
5.1 Marquage des bornes et des commandes	88
5.2 Dimensions	88
5.3 Masse	89
5.4 Connecteurs et faisceaux de câbles	89
6 Données de conception	89
7 Conditions	89
7.1 Conditions assignées	89
7.2 Conditions climatiques	89
7.3 Conditions de mesure normales	89
8 Signaux d'essai	90
8.1 Généralités	90
8.2 Modulation de fréquence pulsée sinusoïdale	90
8.3 Signal à son unique en régime permanent	91
8.4 Signal à deux fréquences en régime permanent.....	91
8.5 Complexe à fréquences multiples épars	92
8.6 Signal de bruit à large bande	93
8.7 Signal de bruit à bande étroite	93
8.8 Signal en rafale de Hanning	93
8.9 Signal impulsif	93
9 Environnement acoustique.....	93
9.1 Généralités	93
9.2 Conditions de champ libre.....	93
9.3 Conditions de champ libre en demi-espace	93
9.4 Conditions de champ libre simulé.....	94
9.5 Conditions de champ libre simulé en demi-espace	94
9.6 Conditions de champ acoustique diffus	94
9.7 Conditions d'application visée	94
10 Positionnement du DUT	94
10.1 Conditions géométriques assignées	94
10.1.1 Généralités	94
10.1.2 Plan de référence et vecteur normal	95
10.1.3 Point de référence	95
10.1.4 Axe de référence	95
10.1.5 Vecteur d'orientation.....	95
10.1.6 Point d'évaluation	96
10.1.7 Distance d'évaluation	96
10.2 Distance de mesure entre le DUT et le microphone.....	96

10.2.1	Conditions de champ lointain.....	96
10.2.2	Conditions de champ proche.....	97
10.2.3	Conditions de champ diffus.....	97
10.2.4	Condition d'application visée	98
11	Équipement de mesure et résultats des essais	98
12	Exactitude de la mesure acoustique	98
12.1	Généralités	98
12.2	Incertitude de mesure	98
13	Montage du DUT	99
13.1	Montage et charge acoustique des unités motrices	99
13.2	Montage et charge acoustique d'un système électroacoustique	99
14	Préconditionnement.....	100
15	Conditions ambiantes assignées.....	100
15.1	Plages de températures	100
15.1.1	Plage de températures limitée de l'aptitude à la fonction	100
15.1.2	Plage de températures limitée de dommage	100
15.2	Plages d'humidités.....	100
15.2.1	Plage d'humidités relatives	100
15.2.2	Plage d'humidités limitée de dommage	100
16	Plage de fréquences assignée	100
17	Signal d'entrée	101
17.1	Valeur d'entrée maximale assignée.....	101
17.1.1	Condition à spécifier	101
17.1.2	Mesure directe.....	101
17.1.3	Mesure indirecte basée sur SPL_{max}	102
17.2	Niveau d'entrée maximal.....	103
18	Pression acoustique de sortie.....	103
18.1	Pression acoustique maximale assignée	103
18.1.1	Conditions à spécifier	103
18.1.2	Mesure directe.....	103
18.1.3	Mesure indirecte basée sur la valeur d'entrée maximale	105
18.2	Niveau de pression acoustique maximal assigné.....	105
18.3	Niveau de pression acoustique maximal à court terme	105
18.3.1	Conditions à spécifier	105
18.3.2	Méthode de mesure	105
18.4	Niveau de pression acoustique maximal à long terme	106
18.4.1	Conditions à spécifier	106
18.4.2	Méthode de mesure	106
18.5	Pression acoustique dans une bande de fréquences indiquée.....	107
18.5.1	Condition à spécifier	107
18.5.2	Méthode de mesure	107
18.6	Niveau de pression acoustique dans une bande de fréquences indiquée	107
18.7	Pression acoustique moyenne dans une plage de fréquences indiquée.....	108
18.7.1	Condition à spécifier	108
18.7.2	Méthode de mesure	108
18.8	Niveau de pression acoustique moyen dans une plage de fréquences indiquée.....	108
19	Réponse en fréquence de la composante fondamentale	108

19.1	Fonction de transfert	108
19.1.1	Conditions à spécifier	108
19.1.2	Méthode de mesure	108
19.2	Réponse en fréquence du SPL	110
19.2.1	Conditions à spécifier	110
19.2.2	Méthode de mesure	110
19.3	Compression à variation dans le temps de l'amplitude de la composante fondamentale	111
19.3.1	Généralités	111
19.3.2	Méthode de mesure	111
19.4	Compression de l'amplitude à l'entrée maximale	111
19.4.1	Compression de l'amplitude à court terme	111
19.4.2	Méthode de mesure	112
19.4.3	Compression de l'amplitude à long terme	112
19.4.4	Méthode de mesure	112
19.5	Corrections basées sur une mesure de référence en champ libre	112
19.5.1	Généralités	112
19.5.2	Correction du signal de pression acoustique mesuré	113
19.5.3	Correction de la réponse en amplitude	114
19.6	Plage de fréquences effective	114
19.6.1	Conditions à spécifier	114
19.6.2	Méthode de mesure	115
19.7	Latence interne	115
19.7.1	Conditions à spécifier	115
19.7.2	Méthodes de mesure	115
20	Caractéristiques directionnelles	115
20.1	Généralités	115
20.2	Champ acoustique direct dans l'espace 3D	116
20.2.1	Fonction de transfert directionnelle	116
20.2.2	Données de champ lointain extrapolées	116
20.2.3	Paramètre de l'expansion du champ acoustique holographique	117
20.2.4	Données de champ proche extrapolées	118
20.3	Caractéristiques directionnelles du champ lointain	118
20.3.1	Facteur directionnel	118
20.3.2	Gain directionnel	120
20.3.3	Facteur de directivité	120
20.3.4	Indice de directivité	121
20.4	Puissance de sortie acoustique	121
20.4.1	Conditions à spécifier	121
20.4.2	Méthodes de mesure	121
20.5	Niveau de puissance acoustique	123
20.6	Puissance de sortie acoustique moyenne dans une bande de fréquences	123
20.6.1	Conditions à spécifier	123
20.6.2	Méthode de mesure	123
20.7	Angle de rayonnement	124
20.7.1	Conditions à spécifier	124
20.7.2	Méthode de mesure	124
20.8	Angle ou angles de couverture	124
20.8.1	Conditions à spécifier	124

20.8.2	Méthode de mesure	124
20.9	Niveau de pression acoustique moyen dans une zone acoustique.....	124
20.9.1	Généralités	124
20.9.2	Méthode de mesure	125
21	Distorsion harmonique	125
21.1	Généralités	125
21.2	Composante harmonique du $n^{\text{ème}}$ ordre	125
21.2.1	Conditions à spécifier	125
21.2.2	Méthode de mesure	125
21.3	Composantes harmoniques totales	126
21.3.1	Conditions à spécifier	126
21.3.2	Méthode de mesure	126
21.4	Distorsion harmonique totale.....	127
21.4.1	Conditions à spécifier	127
21.4.2	Méthode de mesure	127
21.5	Distorsion harmonique d'ordre supérieur.....	128
21.5.1	Conditions à spécifier	128
21.5.2	Méthode de mesure	128
21.6	Niveau de pression acoustique maximal limité par la distorsion harmonique totale	129
21.6.1	Conditions à spécifier	129
21.6.2	Méthode de mesure	129
21.7	Composante de distorsion harmonique d'entrée équivalente du $n^{\text{ème}}$ ordre	129
21.7.1	Conditions à spécifier	129
21.7.2	Méthode de mesure	130
21.8	Distorsion harmonique totale d'entrée équivalente	131
21.8.1	Conditions à spécifier	131
21.8.2	Méthode de mesure	131
22	Distorsion à deux fréquences	131
22.1	Variation des fréquences d'excitation	131
22.2	Distorsion de modulation.....	132
22.2.1	Conditions à spécifier	132
22.2.2	Méthode de mesure	132
22.3	Distorsion de modulation d'amplitude	133
22.3.1	Conditions à spécifier	133
22.3.2	Méthode de mesure	133
23	Distorsion à fréquences multiples	134
23.1	Conditions à spécifier	134
23.2	Méthode de mesure	135
24	Distorsion impulsive	136
24.1	Niveau de distorsion impulsive.....	136
24.1.1	Conditions à spécifier	136
24.1.2	Méthode de mesure	136
24.2	Taux de distorsion impulsive maximal	137
24.2.1	Conditions à spécifier	137
24.2.2	Méthode de mesure	137
24.3	Niveau de distorsion impulsive moyen	137
24.3.1	Conditions à spécifier	137

24.3.2	Méthode de mesure	138
24.4	Facteur de crête de la distorsion impulsive	138
24.4.1	Conditions à spécifier	138
24.4.2	Méthode de mesure	138
25	Champs magnétiques parasites	139
25.1	Généralités	139
25.2	Composante statique	139
25.2.1	Caractéristique à spécifier	139
25.2.2	Méthode de mesure	139
25.3	Composantes dynamiques	140
25.3.1	Caractéristiques à spécifier	140
25.3.2	Méthode de mesure	140
Annexe A (informative)	Analyse de l'incertitude	141
Annexe B (normative)	Montage du transducteur	143
B.1	Écran acoustique normalisé	143
B.2	Enceintes de mesure normalisées	145
B.2.1	Généralités	145
B.2.2	Type A	145
B.2.3	Type B	146
Annexe C (normative)	Signal du programme simulé	147
Annexe D (informative)	Définition des valeurs d'entrée et de sortie assignées maximales	149
Annexe E (informative)	Expansion de l'onde sphérique	151
E.1	Coefficients d'expansion de l'onde sphérique	151
E.2	Facteur directionnel	151
E.3	Facteur de directivité	152
E.4	Puissance de sortie acoustique	152
Annexe F (informative)	Non-linéarité	153
F.1	Distorsion harmonique d'entrée équivalente	153
F.2	Intermodulation à deux fréquences	153
F.3	Distorsion du signal générée dans les systèmes audio	155
Annexe G (informative)	Champ magnétique parasite	157
Bibliographie		158

Figure 1 – Conditions assignées utilisées pour décrire la position du DUT dans le système de coordonnées 95

Figure 2 – Position et orientation recommandées du DUT 96

Figure 3 – Région valide de l'expansion de la pression acoustique $p(r)$ au point d'observation r à la distance $r > a$ 118

Figure 4 – Mesure de la distorsion générée par un stimulus à fréquences multiples 135

Figure 5 – Mesure de la distorsion impulsive 136

Figure A.1 – Relation entre les limites de tolérance, les intervalles d'acceptation correspondants et l'incertitude de mesure maximale admissible, U_{MAX} 141

Figure B.1 – Écran acoustique normalisé, dimensions 143

Figure B.2 – Écran acoustique normalisé avec chanfrein 144

Figure B.3 – Écran acoustique normalisé avec écran acoustique secondaire 144

Figure B.4 – Enceinte de mesure normalisée de type A (le volume net est d'environ 600 l)	145
Figure B.5 – Enceinte de mesure normalisée de type B (le volume net est d'environ 450 l)	146
Figure C.1 – Synoptique du montage d'essai pour générer le signal de bruit simulé utilisé pour les essais des systèmes de haut-parleur passifs comprenant un réseau filtrant	147
Figure F.1 – Ordinogramme du signal du système électroacoustique	153
Figure F.2 – Variation des fréquences du stimulus à deux fréquences dans la mesure de l'intermodulation	154
Figure F.3 – Génération de la distorsion du signal dans les systèmes audio	155
Figure G.1 – Appareil de mesure du champ magnétique parasite	157
Tableau A.1 – Exemple de budget d'incertitude – évaluation acoustique d'un haut-parleur	142
Tableau C.1 – Spectre de puissance du signal du programme simulé en bandes d'1/3 d'octave assignées	148

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉQUIPEMENTS POUR SYSTÈMES ÉLECTROACOUSTIQUES –

Partie 21: Mesures acoustiques (basées sur la sortie)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60268-21 a été établie par le comité d'études 100 de l'IEC: Systèmes et équipements audio, vidéo et services de données.

La présente version bilingue (2019-03) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2018-11.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 100/2957/CDV et 100/3019/RVC.

Le rapport de vote 100/3019/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote. Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de l'IEC 60628, publiées sous le titre général *Équipements pour systèmes électroacoustiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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 "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Par conséquent, il convient que les utilisateurs impriment cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60268-21:2018

INTRODUCTION

Les haut-parleurs, casques d'écoute et autres excitateurs sont devenus plus polyvalents, avec pour conséquence que de nouvelles techniques de mesure sont exigées pour évaluer ces systèmes. Ci-après une liste d'exemples où de nouvelles techniques de mesure sont exigées:

- Accès limité aux bornes électriques du transducteur
L'accès aux bornes électriques du transducteur est limité en raison du niveau d'intégration plus élevé des éléments électriques, acoustiques et mécaniques.
- Signaux d'entrée audio analogiques ou numériques
Les entrées audio peuvent accepter des signaux analogiques ou numériques dans plusieurs formats.
- Latence et autres types de distorsion associée au traitement numérique des signaux
Le traitement numérique des signaux est utilisé pour corriger le comportement de transfert du système passif et pour générer la sortie sonore souhaitée, ce qui peut entraîner une latence et d'autres types de distorsion qui ne se rencontrent pas dans un équipement analogique.
- Correction excessive
Une correction excessive peut forcer le transducteur à fonctionner dans le domaine des signaux forts, ce qui entraîne des effets thermiques et non linéaires.
- Protection active
La protection active atténue le signal d'entrée pour prévenir une surcharge mécanique et thermique du transducteur et d'autres composants.
- Autres principes de transducteur
Bien que la majorité des systèmes de haut-parleur emploient une bobine mobile dans un transducteur électrodynamique, il est nécessaire d'étendre l'application aux transducteurs électrostatiques, électromagnétiques ou à tout autre principe de transducteur.
- Autres éléments mécaniques et acoustiques
Des enceintes ventilées, des enceintes hermétiques, des éléments rayonnants passifs, des pavillons, des guides d'ondes, des panneaux plats ainsi que d'autres éléments mécaniques et acoustiques sont mis en œuvre pour améliorer le rayonnement sonore.
- Distorsion impulsive
Des défauts de fabrication (par exemple frottement de la bobine acoustique) ou un fonctionnement en surcharge peuvent provoquer des distorsions impulsives, lesquelles ont un fort impact sur la qualité sonore perçue, mais ne peuvent pas être détectées par des mesures conventionnelles (par exemple distorsion harmonique totale).
- Caractéristiques directionnelles et propriétés de champ proche complexes
L'évaluation complète d'un équipement professionnel, y compris des caractéristiques directionnelles, peut être réalisée par un examen des propriétés de champ proche complexes qui vient en complément des techniques de mesure du champ lointain existantes. Il est en outre nécessaire d'évaluer les appareils conçus pour être utilisés dans le champ proche, tels que les appareils audio personnels portatifs (par exemple ordinateurs portables, tablettes, mobiles multifonction) et autres systèmes électroacoustiques portables d'une manière appropriée pour leur utilisation prévue.

ÉQUIPEMENTS POUR SYSTÈMES ÉLECTROACOUSTIQUES –

Partie 21: Mesures acoustiques (basées sur la sortie)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60268 spécifie une méthode de mesure acoustique qui s'applique aux transducteurs électroacoustiques ainsi qu'aux systèmes électroacoustiques passifs et actifs tels que les haut-parleurs, les téléviseurs, les appareils multimédias, les appareils audio personnels portables, les systèmes électroacoustiques pour automobile et les équipements professionnels. L'appareil soumis à essai (DUT) peut être constitué de composants électriques qui effectuent un traitement analogique et numérique des signaux avant la transduction de l'entrée électrique en un signal de sortie acoustique par les excitateurs passifs. Le présent document décrit uniquement les mesures physiques qui évaluent le comportement de transfert du DUT entre un signal d'entrée analogique ou numérique arbitraire et la sortie acoustique en un point quelconque dans le champ proche et lointain du système. Cela inclut le fonctionnement du DUT dans les domaines à la fois des signaux faibles et des signaux forts. L'influence des conditions de limite acoustique de l'application visée (par exemple habitacle de véhicule) peut également être prise en considération dans l'évaluation physique du système électroacoustique. Le présent document n'évalue pas la perception et l'évaluation cognitive du son reproduit ni l'impact de la qualité perçue du son.

NOTE Certaines méthodes de mesure définies dans le présent document peuvent être appliquées aux casques d'écoute, casques microphoniques, écouteurs et oreillettes selon [1]¹. Le présent document ne s'applique pas aux microphones et autres capteurs. Le présent document n'exige pas l'accès aux variables d'état (tension, courant) aux bornes électriques du transducteur. La sensibilité, la puissance d'entrée électrique et les autres caractéristiques basées sur l'impédance électrique seront décrites dans un futur document normatif distinct, l'IEC 60268-22, dédié aux mesures électriques et mécaniques.

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 60263, *Échelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires*

IEC 60268-1, *Équipements pour systèmes électroacoustiques – Première partie: Généralités*

IEC 60268-2:1987, *Équipements pour systèmes électroacoustiques – Deuxième partie: Explication des termes généraux et méthodes de calcul*

IEC 61094-4, *Microphones de mesure – Partie 4: Spécifications des microphones étalons de travail*

IEC 61260-1, *Électroacoustique – Filtres de bande d'octave et de bande d'une fraction d'octave – Partie 1: Spécifications*

ISO 3, *Nombres normaux – Séries de nombres normaux*

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

ISO 3741:2010, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthodes de laboratoire en salles d'essais réverbérantes*

ISO 3744, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthodes d'expertise pour des conditions approchant celles du champ libre sur plan réfléchissant*

ISO 3745, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthodes de laboratoire pour les salles anéchoïques et les salles semi-anéchoïques*

CTA 2034-A, *Standard Method of Measurement for In-Home Loudspeakers*, Consumer Technology Association (anciennement CEA), 01/02/2015 (disponible en anglais seulement)

CTA 2010-B, *Standard Method of Measurement for Powered Subwoofers*, standard by Consumer Technology Association (anciennement CEA), 28/11/2014 (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/>

3.2 Termes abrégés

DUT appareil soumis à essai (device under test)

4 Description du type

La description du type doit être fournie par le fabricant et inclure les informations suivantes:

- type, principes et nombre de transducteurs utilisés dans le système de haut-parleur;
- charge acoustique (par exemple enceinte, pavillon, bass reflex, colonne, line array);
- amplification de puissance;
- traitement DSP (par exemple égaliseur, protection active).

5 Caractéristiques physiques

5.1 Marquage des bornes et des commandes

Les bornes et les commandes doivent être marquées conformément à l'IEC 60268-1 et à l'IEC 60268-2.

5.2 Dimensions

Les dimensions externes du DUT doivent être spécifiées.

5.3 Masse

La masse totale du DUT prêt pour l'utilisation doit être spécifiée.

5.4 Connecteurs et faisceaux de câbles

Les faisceaux de câbles et les connecteurs doivent être conformes à l'IEC 60268-11 et à l'IEC 60268-12.

NOTE Dans certaines circonstances, les connecteurs qui sont actuellement normalisés sont inadaptes et l'utilisation d'autres types est inévitable.

6 Données de conception

Les données de conception supplémentaires doivent être spécifiées sous la forme d'informations supplémentaires telles que:

- type de principe de transducteur;
- nombre de transducteurs (unités motrices);
- traitement numérique du signal audio (correction, linéarisation, protection active).

7 Conditions

7.1 Conditions assignées

Pour des raisons pratiques, le présent document spécifie comment doit être monté l'équipement pour systèmes électroacoustiques en vue de réaliser les mesures. Les conditions de mesure normales sont définies dans le présent document. Certaines valeurs (appelées "conditions assignées") doivent être relevées dans les spécifications du fabricant afin d'obtenir les conditions réelles pour la mesure.

Ces conditions assignées ne sont pas soumises à mesure, mais elles constituent la base pour la réalisation des mesures en vue de déterminer les autres caractéristiques.

Les conditions assignées suivantes sont de ce type et doivent être déclarées par le fabricant:

- pression acoustique de sortie maximale assignée ou valeur d'entrée maximale;
- plage de fréquences assignée;
- conditions géométriques selon 10.1;
- conditions ambiantes selon l'Article 15.

7.2 Conditions climatiques

L'IEC 60268-1 stipule qu'il convient de réaliser les essais dans l'environnement suivant en vue d'éviter une influence de la température et de l'humidité qui peut affecter les propriétés des suspensions de l'unité motrice [2]:

- température ambiante T_{norm} : 15 °C à 35 °C;
- humidité relative: 25 % à 75 %;
- pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa.

7.3 Conditions de mesure normales

Le DUT doit être considéré se trouver dans les conditions de mesure normales lorsque toutes les conditions suivantes sont remplies:

- a) Le DUT à mesurer est monté à conformément à l'Article 13;

- b) L'environnement acoustique est spécifié et sélectionné parmi ceux indiqués dans l'Article 9;
- c) Les signaux acoustiques non désirés, les signaux électriques et le bruit généré par d'autres sources doivent être maintenus à des niveaux les plus faibles possible, car leur présence peut masquer les signaux de faible niveau. Les données relatives aux signaux qui se trouvent à moins de 20 dB au-dessus du niveau de bruit dans la bande de fréquences examinée doivent être éliminées ou marquées comme étant dégradées par le bruit;
- d) Le positionnement du DUT par rapport au microphone de mesure et aux parois est conforme à l'Article 10;
- e) Le DUT est acclimaté aux conditions ambiantes selon l'IEC 60268-1, ou alors le DUT possède une température de fonctionnement définie qui est typique pour l'application visée et qui est déterminée en mesurant la compression conformément à 19.4;

NOTE L'influence des conditions atmosphériques ambiantes sur les mesures acoustiques est traitée de manière plus précise dans [3].

- f) Des périodes de refroidissement supplémentaires sont exigées entre les essais successifs si la compression $C > 0,5$ dB selon 19.4;
- g) Un signal d'essai ayant des propriétés spécifiées (spectre, durée, etc.) selon l'Article 8 est appliqué au DUT, avec une valeur d'entrée efficace $\tilde{u}$ spécifiée pour la plage de fréquences assignée conformément à l'Article 16;
- h) Les atténuateurs, les égaliseurs ou tout autre élément de commande actif doivent être réglés à leur position «normale» telle qu'elle est stipulée par le fabricant. Si d'autres positions sont choisies, par exemple celles qui produisent une réponse en fréquence la plus uniforme possible ou une atténuation minimale, elles doivent être spécifiées;
- i) L'équipement de mesure approprié pour la détermination des caractéristiques utiles est branché conformément à l'Article 11.

8 Signaux d'essai

8.1 Généralités

Certaines mesures peuvent être réalisées en utilisant un signal audio $x(t)$ quelconque comme signal d'entrée (stimulus) appliqué à l'appareil électroacoustique soumis à essai (DUT), alors que d'autres techniques de mesure emploient les signaux d'essai décrits de 8.2 à 8.9.

8.2 Modulation de fréquence pulsée sinusoïdale

La modulation de fréquence pulsée sinusoïdale transitoire (son glissant, balayage) est définie sous la forme

$$x_c(t) = \sqrt{2}A(f(t))\cos(2\pi f(t)t)$$

l'amplitude $A(f(t))$ étant dépendante de la fréquence instantanée

$$f(t) = f_{\text{start}} 2^{\beta t} \quad 0 \leq t \leq T_s$$

variant de façon logarithmique dans le temps depuis la fréquence de départ f_{start} jusqu'à la fréquence finale f_{end} pendant la durée du balayage T_s , qui est généralement $0,2 \text{ s} < T_s < 10 \text{ s}$. Le paramètre vitesse de balayage

$$\beta = \frac{1}{T_s} \log_2 \left(\frac{f_{\text{end}}}{f_{\text{start}}} \right)$$

décrit le temps exigé pour doubler la fréquence instantanée.

Une valeur constante peut être appliquée à l'amplitude $A(f(t))$, mais une amplitude qui varie avec la fréquence peut être utilisée pour protéger le DUT dans des bandes de fréquences particulières. Les mesures ultrarapides, comme celles qui sont parfois exigées lors des essais en fin de ligne, exigent d'autres signaux à modulation de fréquence pulsée où la vitesse de balayage $\beta(f)$ du signal sinusoïdal instantané varie elle aussi avec la fréquence f . Le profil de vitesse variable peut être utilisé pour réaliser un spectre de densité de puissance désiré du stimulus et fournir une exactitude suffisante pour la bande de fréquences d'intérêt ainsi qu'une valeur de crête désirée du signal $x_c(t)$.

8.3 Signal à son unique en régime permanent

Le système électroacoustique est excité par un son unique

$$x_s(t) = \sqrt{2} \cos(2\pi f_1 t) \quad 0 \leq t \leq T_P + T_M = \frac{N_P + N_M}{f_1}$$

ayant une fréquence définie f_1 . La durée de préexcitation $T_P = N_P/f_1$ correspondant à un nombre de périodes $N_P > 5$ est exigée pour générer l'état de régime permanent du système électroacoustique. Le temps de mesure

$$T_M = \frac{N_M}{f_1}$$

avec un nombre de périodes $N_M \geq 1$ est recommandé pour l'intégration temporelle et le traitement du signal discret dans le temps.

8.4 Signal à deux fréquences en régime permanent

Le système électroacoustique est excité par deux fréquences

$$x_t(t) = \sqrt{\frac{2}{A_1^2 + A_2^2}} (A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)) \quad 0 \leq t \leq (T_P + T_M)$$

ayant des fréquences définies $f_1 < f_2$ et mise à l'échelle de l'amplitude A_1 et A_2 . La durée de préexcitation $T_P = N_P/f_1$ correspondant à un nombre minimal de répétitions $N_P > 5$ est exigée pour générer l'état de régime permanent du DUT. Le temps de mesure

$$T_M = \frac{N_M}{f_1 f_2} 1\text{Hz}$$

correspondant à un nombre donné de répétitions $N_M \geq 1$ est constitué d'un nombre entier de périodes des deux sons. Ceci est recommandé pour l'intégration temporelle et le traitement du signal discret dans le temps.

8.5 Complexe à fréquences multiples épars

Le complexe à fréquences multiples défini par

$$x_m(t) = \sqrt{\frac{2}{\sum_{i=0}^N A(f_i)^2}} \sum_{i=0}^N A(f_i) \cos(2\pi f_i t + \varphi_i) \quad 0 < t \leq T_P + T_M$$

comprend une multitude de $(N + 1)$ sons sinusoïdaux ayant une amplitude $A(f_i)$ à des fréquences espacées de façon logarithmique

$$f_i = f_b \text{int}\left(T \cdot f_0 \cdot 2^{i/R}\right) \quad \text{avec } i = 0, \dots, N$$

entre le son le plus bas f_0 et le son le plus haut f_N à des multiples de la fréquence de base f_b . La fréquence de base f_b définie par

$$f_b = \frac{1}{T} = \frac{f_s}{N_{FT}}$$

correspond à la longueur minimale T du complexe à fréquences multiples, à la fréquence d'échantillonnage f_s et à la taille N_{FT} de la transformée de Fourier (DFT ou FFT) afin d'éviter un effet de traînée des sons fondamentaux sur de multiples segments du spectre.

Le paramètre de résolution R décrit le nombre de sons par octave. Les sons possèdent une phase pseudo-aléatoire

$$\varphi_i = \frac{2\pi}{m} n_i \quad \text{pour } i = 0, \dots, N$$

avec

$$n_i = (a n_{i-1} + c) \bmod_m \quad \text{pour } i = 1, \dots, N$$

générant une forme d'onde déterministe du stimulus [4].

NOTE Les phases des sons à basse fréquence déterminent la forme d'onde du déplacement de la bobine acoustique, lequel a un fort impact sur la distorsion non linéaire générée par le moteur et les non-linéarités de la suspension.

Le paramètre de modulus m est généralement défini par la taille du mot numérique employé. Les autres paramètres libres a , c ainsi que la valeur de départ n_0 (amorce) doivent être positifs et inférieurs à m . Une modification de ces paramètres affecte le caractère aléatoire des phases générées et par conséquent le facteur de crête du signal temporel reçu. Le facteur de crête peut être optimisé pour une plage de fréquences, une longueur de signal et une résolution spécifiques. Des valeurs par défaut raisonnables sont $a = 843\,314\,861$, $c = 453\,816\,693$, $m = 2^{31}$ et $n_0 = 0$. Les autres paramètres éventuellement utilisés doivent être indiqués.

Le calcul du modulo doit être effectué exactement sans erreur d'arrondi. Pour les paramètres donnés, cela peut être obtenu en utilisant des données du type nombre entier non signé de 32 bits.

La durée de préexcitation T_P avec $0,5 T < T_P < T$ doit garantir l'état de régime permanent du système électroacoustique soumis à essai. Le temps de mesure $T_M = N_M T$ avec un nombre entier de répétitions $N_M \geq 1$ est recommandé pour l'intégration temporelle et l'analyse de Fourier.

8.6 Signal de bruit à large bande

Tel que défini dans l'IEC 60268-2:1987, 1.4.

8.7 Signal de bruit à bande étroite

Tel que défini dans l'IEC 60268-2:1987, 1.4.

8.8 Signal en rafale de Hanning

Le signal en rafale de Hanning,

$$x_b(t) = \begin{cases} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi f_0 t}{6,5}\right) \frac{\sin(2\pi f_0 t)}{2}\right) & \text{for } 0 \leq t \leq 6,5/f_0 \\ 0 & \text{, partout ailleurs} \end{cases}$$

est défini comme étant le produit dans le temps entre une onde sinusoïdale continue de fréquence f_0 et une fenêtre de Hanning ayant une longueur de 6,5 cycles, générant une largeur de bande égale à un tiers d'une octave [5].

8.9 Signal impulsif

Tel que défini dans l'IEC 60268-2.

9 Environnement acoustique

9.1 Généralités

Les mesures acoustiques doivent être réalisées dans l'une des conditions des paragraphes suivants. L'environnement acoustique utilisé pour les essais doit être indiqué.

9.2 Conditions de champ libre

Des conditions acoustiques qui s'approchent de celles de l'espace libre peuvent être utilisées. Tout environnement doit être considéré comme satisfaisant lorsque les composantes sonores réfléchies sont suffisamment supprimées pour garantir une exactitude de $\pm 0,5$ dB et de $\pm 10^\circ$ des valeurs mesurées respectives de l'amplitude de la pression acoustique et de la phase, à la fréquence spécifiée. Si l'environnement (par exemple une chambre anéchoïque aux basses fréquences) ne remplit pas ces conditions de champ libre sur la plage de fréquences assignée, le fabricant doit indiquer la plage de fréquences valide.

La réponse en amplitude peut être corrigée conformément à 19.5 si les conditions de champ libre ne sont pas remplies. La correction éventuellement appliquée doit être indiquée.

9.3 Conditions de champ libre en demi-espace

Des conditions acoustiques dans lesquelles le champ libre selon 9.2 existe dans un demi-espace peuvent être utilisées [6]. Ces conditions doivent être remplies de manière satisfaisante avec un plan réfléchissant suffisamment grand. Les réflexions du son rayonné sur d'autres surfaces réfléchissantes (par exemple les murs) doivent être supprimées suffisamment pour garantir une exactitude de $\pm 0,5$ dB et de $\pm 10^\circ$ des valeurs mesurées de

l'amplitude de la pression acoustique et de la phase, à la fréquence spécifiée. Si l'environnement (par exemple une chambre anéchoïque aux basses fréquences) ne remplit pas ces conditions de champ libre sur la totalité de la plage de fréquences assignée, le fabricant doit indiquer la plage de fréquences valide.

9.4 Conditions de champ libre simulé

Les conditions acoustiques de tout environnement (par exemple chambre non anéchoïque) doivent être satisfaisantes si le son direct rayonné par le DUT est séparé des réflexions de la pièce en utilisant des techniques de mesure telles que le portillonnage de la réponse impulsionnelle [7], la séparation d'onde [8] ou l'holographie acoustique [9]. Ces techniques de mesure doivent garantir une exactitude de $\pm 0,5$ dB et de $\pm 10^\circ$ des valeurs mesurées de l'amplitude de la pression acoustique et de la phase, à la fréquence spécifiée. La résolution de fréquence $\Delta f = 1/T$, où T désigne la longueur effective ou tronquée de la réponse impulsionnelle là où les conditions de champ libre simulé sont remplies, et toute autre limitation qui compromet les résultats de la mesure, doivent être indiquées.

NOTE La technique de portillonnage tronque la réponse impulsionnelle, ce qui réduit la résolution de fréquence. L'extension de la réponse impulsionnelle tronquée par remplissage avec des zéros accroît virtuellement la résolution, mais ne fournit pas d'informations supplémentaires.

9.5 Conditions de champ libre simulé en demi-espace

Des conditions acoustiques, selon 9.4, où l'appareil soumis à essai est monté dans un plan réfléchissant suffisamment grand.

9.6 Conditions de champ acoustique diffus

Des conditions de champ acoustique diffus peuvent être utilisées pour les mesures à l'aide du bruit rose et l'analyse de la bande de 1/3 d'octave, comme définie et spécifiée dans l'ISO 3741. La fréquence de limitation inférieure doit être déterminée comme spécifié dans l'ISO 3741:2010, Annexe A.

9.7 Conditions d'application visée

Des conditions acoustiques qui correspondent à l'application visée finale de l'appareil soumis à essai (par exemple système électroacoustique monté dans une automobile).

10 Positionnement du DUT

10.1 Conditions géométriques assignées

10.1.1 Généralités

Comme représenté à la Figure 1, la position et l'orientation du DUT doivent être indiquées en utilisant le plan de référence avec le vecteur normal n_{ref} , le point de référence r_{ref} , l'axe de référence et le vecteur d'orientation o_{ref} . De plus, le point d'évaluation et la distance d'évaluation doivent être indiqués comme représenté à la Figure 2.

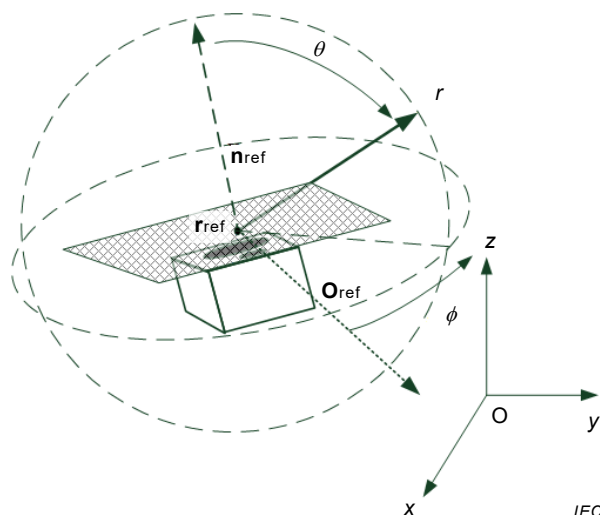


Figure 1 – Conditions assignées utilisées pour décrire la position du DUT dans le système de coordonnées

10.1.2 Plan de référence et vecteur normal

Le plan de référence avec le vecteur normal n_{ref} doit être utilisé pour définir l'axe de référence et le point de référence r_{ref} . Le vecteur normal n_{ref} définit également l'angle polaire $\theta = 0$ en coordonnées sphériques.

NOTE Pour les structures symétriques, le plan de référence est généralement parallèle à la surface rayonnante ou à un plan définissant l'avant du DUT. Pour les structures asymétriques, le plan de référence peut être mieux indiqué au moyen d'un diagramme.

10.1.3 Point de référence

Un point sur le plan de référence. La position du point de référence r_{ref} doit être spécifiée par le fabricant.

NOTE Pour les structures symétriques, le point de référence r_{ref} est généralement le point de symétrie axiale de l'élément rayonnant à l'intérieur du plan de référence; pour les structures asymétriques, le point de référence peut être mieux indiqué au moyen d'un diagramme.

Pour les mesures directionnelles qui effectuent une rotation du DUT, le point de référence est identique au point de rotation (POR²) et généralement choisi proche du centre de gravité (COG³), ou identique à celui-ci, du DUT.

10.1.4 Axe de référence

La ligne qui traverse le plan de référence au point de référence; sa direction doit être spécifiée par le fabricant. L'axe de référence doit être utilisé comme axe de référence zéro pour les mesures directionnelles et de réponse en fréquence.

10.1.5 Vecteur d'orientation

Le vecteur d'orientation o_{ref} définit l'orientation du système électroacoustique à l'intérieur du plan de référence et la direction de l'angle azimutal $\phi = 0$ en coordonnées sphériques. Le vecteur d'orientation préférentiel place le point de référence r_{ref} à l'origine O du système de coordonnées, en pointant le vecteur normal n_{ref} du plan de référence dans la direction z où

² POR = point of rotation.

³ COG = centre of gravity.

l'angle polaire $\theta = 0$ et en tournant le système audio de telle sorte que le vecteur d'orientation $\mathbf{o}_{\text{ref}}$ (par exemple le dessus de l'enceinte) pointe dans la direction x comme représenté à la Figure 2. Ce faisant, la relation entre les coordonnées sphériques et cartésiennes peut être exprimée sous la forme

$$\mathbf{r} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z = r \cos\phi \sin\theta \vec{e}_x + r \sin\phi \sin\theta \vec{e}_y + r \cos\theta \vec{e}_z$$

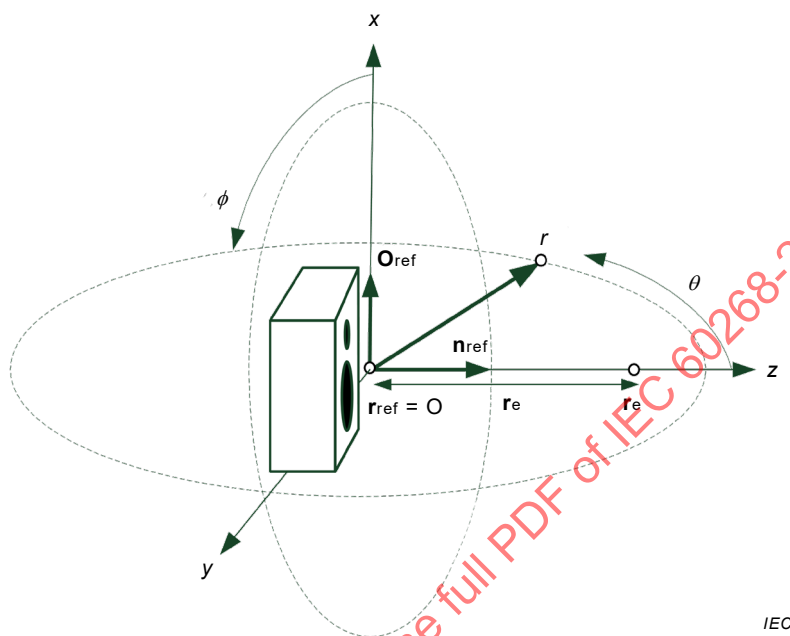


Figure 2 – Position et orientation recommandées du DUT

10.1.6 Point d'évaluation

Le point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ spécifié par le fabricant est la position où est déterminé le niveau de pression acoustique maximal assigné SPL_{max} . Le point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ doit se trouver sur l'axe de référence.

Le point d'évaluation est un point de mesure particulier qui est exigé pour l'étalonnage de la valeur d'entrée maximale u_{max} et le niveau de sortie maximal SPL_{max} conformément à l'Article 17 et à l'Article 18.

10.1.7 Distance d'évaluation

La distance d'évaluation $r_e = |\mathbf{r}_e - \mathbf{r}_{\text{ref}}|$ est la distance entre le point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ et le point de référence $\mathbf{r}_{\text{ref}}$.

NOTE La distance d'évaluation r_e dépend de la taille du DUT; elle est généralement de 1 m, mais elle est plus courte pour les micro-haut-parleurs et plus grande pour les line array.

La distance d'évaluation place idéalement le point d'évaluation dans le champ lointain du DUT (voir 10.2.1).

10.2 Distance de mesure entre le DUT et le microphone

10.2.1 Conditions de champ lointain

Les mesures dans des conditions de champ lointain et de demi-espace doivent idéalement être réalisées dans le champ lointain du DUT à une distance $r > r_{\text{far}}$, la pression acoustique

diminuant en fonction de la distance r conformément à la loi $1/r$. L'emplacement dans le champ lointain est déterminé lorsque les trois conditions suivantes [10] sont remplies:

- 1) la distance r est nettement supérieure à la dimension géométrique d du DUT,
- 2) la distance r est nettement supérieure à la longueur d'onde λ ,
- 3) le rapport entre la distance r et la dimension d est nettement supérieur au rapport entre la dimension d et la longueur d'onde λ ($r/d \gg d/\lambda$).

En pratique, les limitations de l'environnement de mesure (par exemple taille de la pièce [9]) et les effets du bruit de fond fixent cependant une limite supérieure à la distance r utilisable.

Les mesures dans des conditions de champ libre simulé doivent être réalisées avec le microphone et le DUT positionnés au sein de l'environnement de mesure de manière à maximiser le temps exigé pour que la première réflexion non désirée atteigne le microphone.

Si l'espace de mesure est une chambre anéchoïque, les réflexions provenant des pointes de coin, du plancher, des supports du DUT et des supports de microphone doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Les erreurs provenant de ces sources ne doivent pas dépasser $\pm 0,5$ dB et $\pm 10^\circ$ dans les valeurs mesurées de l'amplitude de la pression acoustique et de la phase à toute fréquence au sein de la plage de fréquences de mesure.

10.2.2 Conditions de champ proche

10.2.2.1 Généralités

À l'exception des conditions spéciales selon 10.2.2.2, la pression acoustique dans le champ proche peut uniquement être mesurée à l'aide de techniques holographiques [9]. De plus, les informations de champ lointain valides ne peuvent être calculées qu'à partir des conditions de champ proche en utilisant des méthodes holographiques.

Les avantages des mesures dans le champ proche [11] sont les suivants:

- le temps disponible avant les premières réflexions est maximisé;
- la pression acoustique directe est maximisée.

Les principaux avantages des techniques holographiques est qu'elles permettent de mesurer les DUT de grande taille dans des petites pièces [4].

10.2.2.2 Technique d'extrapolation pour les sources acoustiques simples

La technique d'extrapolation mise au point par Keele [12] fournit des informations de champ lointain fiables aux basses fréquences en se basant sur une mesure en champ proche unique si les haut-parleurs de graves sont montés dans une enceinte hermétique et que le champ acoustique est omnidirectionnel.

10.2.3 Conditions de champ diffus

La position et l'orientation du DUT et du microphone par rapport aux murs doivent être décrites au moyen d'un diagramme joint aux résultats de mesure.

Il est possible d'utiliser une installation qui permet le mouvement simultané du DUT et du microphone pour l'évaluation de la puissance délivrée par le haut-parleur conformément à la méthode décrite en 20.4. Le système de microphone et la position du microphone la plus proche doivent satisfaire aux exigences de l'ISO 3741.

10.2.4 Condition d'application visée

La position et l'orientation du DUT et du microphone par rapport à l'environnement visé (par exemple habitacle de véhicule, oreille artificielle) doivent être décrites au moyen d'un diagramme joint aux résultats de mesure.

Les propriétés acoustiques des limites doivent être décrites en utilisant la moyenne surfacique des coefficients d'absorption d'énergie à incidence aléatoire [13].

11 Équipement de mesure et résultats des essais

Les mesures dans les conditions de champ libre doivent être réalisées en utilisant un microphone de champ libre WS2F ou WS3F selon l'IEC 61094-4. Pour les mesures en conditions de champ diffus, un microphone à pression WS3P ou un microphone à pression WS2P avec champ diffus doit être utilisé.

Les résultats graphiques doivent être conformes à l'un des rapports d'aspect préférentiels dans l'IEC 60263.

Si des données relatives aux fréquences sont fournies en plus des graphes, sauf spécification contraire, celles-ci doivent se trouver aux fréquences préférentielles R40 spécifiées dans l'ISO 3.

12 Exactitude de la mesure acoustique

12.1 Généralités

Les sources d'erreurs probables à la fois dans l'instrumentation et dans l'environnement de mesure doivent être identifiées, quantifiées et leur contribution spécifiée. Les incertitudes dans la position et l'étalonnage du microphone doivent être indiquées (voir 12.2). Ces informations doivent être incluses dans le rapport d'essai.

NOTE Des techniques permettant de quantifier les tolérances de mesure acoustique sont présentées dans [14]. Deux microphones situés à des positions (ou des distances) différentes peuvent être utilisés pour vérifier les erreurs potentielles dans le montage de mesure.

12.2 Incertitude de mesure

L'incertitude de mesure se compose de plusieurs facteurs:

- l'incertitude de l'équipement d'essai utilisé, tel que le générateur de son, les sonomètres, les microphones de mesure, etc.;
- les tolérances du couplage ou du montage mécanique;
- le champ acoustique de l'environnement d'essai;
- le positionnement du DUT dans l'espace d'essai.

La connaissance des facteurs susmentionnés permet généralement de déterminer l'incertitude de mesure [15]. Voir l'Annexe A pour plus d'informations.

NOTE Une bonne pratique consiste à valider l'incertitude de mesure en comparant les résultats de mesure avec ceux d'un laboratoire d'essai accrédité. L'Annexe A contient un exemple de calcul du budget d'incertitude pour l'évaluation de pression acoustique de sortie générée par des haut-parleurs. Voir l'ISO/IEC Guide 98-3 [15] pour plus d'informations.

Les tolérances d'erreur de mesure ne s'appliquent théoriquement qu'à l'aptitude à la fonction d'un appareil soumis à essai lorsque l'équipement de mesure est exact à 100 %. Pour garantir que l'aptitude à la fonction du DUT se trouve dans une tolérance spécifiée lors de l'utilisation d'un équipement de mesure réel imparfait, l'intervalle d'acceptation interne sur la valeur mesurée doit être inférieur à la tolérance spécifiée par l'incertitude maximale autorisée

pour cette mesure. Ceci peut s'appliquer aux applications de contrôle en sortie. Pour confirmer que l'aptitude à la fonction du DUT se trouve hors de la tolérance spécifiée dans des conditions d'utilisation réelles, l'intervalle d'acceptation externe sur la valeur mesurée doit être supérieur à la tolérance spécifiée par l'incertitude maximale autorisée pour cette mesure. Ceci peut s'appliquer aux applications de QC/QA en entrée. L'incertitude maximale autorisée est appliquée à chaque limite de tolérance afin d'obtenir l'intervalle d'acceptation (voir la Figure A.1).

13 Montage du DUT

13.1 Montage et charge acoustique des unités motrices

L'aptitude à la fonction de l'unité motrice (transducteur) est déterminée par les propriétés de l'unité elle-même et de sa charge acoustique. La charge acoustique dépend du montage, lequel doit être clairement décrit dans la présentation des résultats. L'Annexe B décrit des manières de monter le transducteur.

L'un des types de montage suivants doit être utilisé:

- a) Condition de champ libre en demi-espace générée en montant le transducteur à fleur d'une surface réfléchissante plane ayant un diamètre d dix fois supérieur à la longueur d'onde λ de la fréquence de fonctionnement la plus basse ou de la fréquence la plus basse spécifiée ou assignée par le fabricant. Pour les transducteurs, la charge en demi-espace est préférée.
- b) S'il est impossible de remplir cette condition pour les transducteurs à basse fréquence (par exemple haut-parleur de graves) dans la chambre anéchoïque disponible, le fabricant doit stipuler la limite de fréquence la plus basse où cette condition devient valide. En variante, la mesure avec écran acoustique ou une courbe de correction du local d'écoute doit être utilisée.
- c) Un écran acoustique normalisé ayant une surface frontale plane qui est acoustiquement réfléchissante tel que spécifié dans l'Article B.1.
- d) Une enceinte de mesure normalisée spécifiée dans l'Article B.2 (type A ou type B) qui génère un volume d'air arrière défini et une condition de rayonnement à l'avant du transducteur.
- e) Une armoire d'essai non conforme à l'Article B.2 (type A ou type B), qui génère une charge d'air définie et une condition de rayonnement à l'avant du transducteur peut être utilisée pour les essais en fin de ligne et les mesures relatives (voir [16]). Une chambre supplémentaire au niveau du côté arrière du transducteur peut être utilisée pour réaliser une isolation au bruit supplémentaire ou pour prendre en considération l'influence du volume d'air d'un boîtier hermétique dans l'application visée.
- f) Un pavillon défini, un coupleur ou un autre type de guide d'ondes qui couple la surface rayonnante du transducteur au champ acoustique environnant.

NOTE L'application aux casques d'écoute, casques microphoniques, écouteurs et oreillettes est spécifiée dans l'IEC 60268-7.

- g) Un tube à ondes planes.
- h) Le transducteur peut fonctionner à l'air libre sans écran acoustique, enceinte, etc.

13.2 Montage et charge acoustique d'un système électroacoustique

Les systèmes électroacoustiques sont généralement mesurés sans aucun écran acoustique supplémentaire. Si le fabricant spécifie un type de montage spécial pour le système de haut-parleur, celui-ci doit être utilisé pour la mesure. La méthode de montage utilisée doit être spécifiée avec les résultats.

14 Préconditionnement

Des modifications temporaires ou permanentes peuvent avoir lieu lorsqu'un signal qui produit un déplacement important est appliqué pour la première fois au DUT neuf. Un preconditionnement suffisant doit être effectué en fonction de l'utilisation prévue du DUT sur le terrain (par exemple largeur de bande).

NOTE Les propriétés mécaniques de la suspension d'un moteur, par exemple, subissent des modifications importantes. Il en est de même pour les effets de l'échauffement et du refroidissement sur le DUT.

Le DUT doit être preconditionné avant de réaliser les mesures, en appliquant un signal à large bande à la moitié de la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ selon l'Article 17 pendant au moins une heure (3 h recommandées pour les haut-parleurs de graves).

Avant de procéder à la mesure, la période de preconditionnement doit être suivie d'une période de récupération d'au moins une heure tout en veillant à ce que la température des parties internes soit réadaptée aux conditions ambiantes.

15 Conditions ambiantes assignées

15.1 Plages de températures

15.1.1 Plage de températures limitée de l'aptitude à la fonction

La plage de températures sur laquelle la variation des caractéristiques du DUT ne doit pas dépasser les tolérances spécifiées.

15.1.2 Plage de températures limitée de dommage

Un dépassement de cette plage de températures pendant le fonctionnement ou le stockage peut donner lieu à des modifications permanentes des caractéristiques de fonctionnement du DUT.

15.2 Plages d'humidités

15.2.1 Plage d'humidités relatives

La plage d'humidités relatives sur laquelle la variation des caractéristiques du DUT ne doit pas dépasser les tolérances spécifiées.

15.2.2 Plage d'humidités limitée de dommage

Un dépassement de cette plage d'humidités relatives pendant le fonctionnement ou le stockage peut donner lieu à des modifications permanentes des caractéristiques de fonctionnement du DUT.

16 Plage de fréquences assignée

Les fréquences f_l et f_u décrivent les limites inférieure et supérieure de la bande audio pour laquelle est assignée la pression acoustique maximale du DUT.

NOTE La plage de fréquences assignée correspond à l'utilisation prévue du DUT dans l'application finale et peut être différente de la plage de fréquences effective du DUT telle qu'elle est définie en 19.6.

17 Signal d'entrée

17.1 Valeur d'entrée maximale assignée

17.1.1 Condition à spécifier

La valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ est la valeur efficace

$$\tilde{u} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u^2(t) dt}$$

d'un stimulus à large bande $u(t) = a[i]x(t)$ mis à l'échelle par $a[i]$, qui peut être appliqué au DUT pendant plus de 100 h tout en maintenant les caractéristiques mesurées au sein des tolérances spécifiées.

Les propriétés du stimulus à large bande $x(t)$, comme les propriétés spectrales, le facteur de crête et les limites inférieure et supérieure, respectivement f_l et f_u , de la bande de fréquences assignée selon l'Article 16 doivent être indiquées par le fabricant.

La valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ peut être indiquée par le fabricant pour les transducteurs, les systèmes de haut-parleur passifs et les systèmes actifs possédant une entrée unique et une fonction de transfert fixe entre l'entrée et le point d'évaluation r_e . La valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ appliquée à la tension de borne peut être utilisée pour les essais de ligne finale du transducteur passif si les conditions de mesure (par exemple la géométrie de la boîte d'essai) ne sont pas définies ou sont différentes. La valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ peut être utilisée pour évaluer l'influence de différentes conditions de mesure, comme la charge acoustique, le montage du moteur, etc. sur le comportement de transfert du DUT. Dans les systèmes actifs où la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ dépend de la voie d'entrée sélectionnée, de la commande de gain, de l'égaliseur et d'autres réglages du traitement du signal avant que ce dernier atteigne le transducteur passif, la valeur d'entrée maximale peut être déterminée en se basant sur le niveau de pression acoustique maximale assigné $SPL_{\max}$ conformément à 18.2.

17.1.2 Mesure directe

L'équipement suivant ou son équivalent doit être inclus dans la chaîne de mesure:

- un générateur de bruit rose et/ou un générateur à fréquences multiples selon 8.5;

NOTE 1. Un DUT conçu pour des signaux audio pleine bande peut être soumis à essai en utilisant un stimulus à large bande tel qu'un complexe à fréquences multiples ayant une résolution suffisante $R = 10$, un signal de bruit rose ou tout signal similaire à du bruit tel que le signal du programme simulé selon l'Annexe C. Pour un DUT ayant une petite largeur de bande utilisable dans l'application visée (par exemple un caisson de graves), une approximation suffisamment correcte du signal "à large bande" peut être un signal sinusoïdal, un signal en rafale de Hanning ou un bruit à bande étroite selon l'Article 8.

- un réseau de pondération optionnel pour obtenir le signal de bruit selon l'Annexe C;
- un réseau d'écrtage optionnel pour réaliser un facteur de crête défini;
- un amplificateur de puissance optionnel pour un DUT électroacoustique passif.

Le bruit écrété aux bornes du haut-parleur soumis à essai doit avoir une distribution de fréquence telle que spécifiée dans l'Annexe C et un rapport crête/efficace (facteur de crête) compris entre 1,8 et 2,2. L'amplitude de la réponse en fréquence entre l'entrée de l'amplificateur de puissance optionnel et la tension aux bornes d'entrée d'un DUT passif doit être constante avec une tolérance de $\pm 0,5$ dB dans la plage de fréquences de 20 Hz à 20 kHz. Le filtre passe-haut dans l'amplificateur de puissance peut augmenter le facteur de crête du signal de bruit transféré. L'amplificateur de puissance optionnel doit posséder une impédance de sortie inférieure ou égale à 1/3 de l'impédance assignée du DUT passif. L'amplificateur

doit être capable d'alimenter le DUT passif avec une tension sinusoïdale de crête au moins égale au double de la tension efficace du bruit d'essai sans écrêtage.

- a) Le fabricant définit une valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ en tant que candidate pour la valeur d'entrée maximale assignée $\tilde{u}_{\text{max}}$. La valeur d'essai choisie prend en considération l'application prévue et le comportement du DUT (par exemple échauffement admissible et excursion mécanique maximale de la bobine acoustique), ce qui permet d'éviter des dommages au DUT pendant l'essai qui suit.

NOTE 2 L'Annexe D présente les considérations et les mesures qui sont exigées pour spécifier la valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$.

- b) Le DUT doit être placé dans une pièce de taille suffisante (généralement $> 8 \text{ m}^3$) avec les conditions climatiques spécifiées en 7.2. La taille de la pièce dépend de l'espace exigé autour du DUT pour éviter toute charge acoustique supplémentaire du DUT et pour garantir des conditions climatiques stables durant l'essai.
- c) Le DUT doit être soumis à essai dans des conditions climatiques spécifiées pendant une période continue de 100 h à la valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ du stimulus d'entrée, qui est un stimulus à large bande tel qu'il est stipulé par le fabricant.

NOTE 3 Du fait que la valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ est constante pendant l'essai de 100 h, l'échauffement du DUT provoquera une compression thermique de la sortie acoustique. Cet effet peut être évalué en mesurant la compression selon 19.4.

- d) Immédiatement après l'essai, le DUT doit être stocké dans des conditions climatiques normalement rencontrées dans des pièces ou des laboratoires ordinaires. Sauf spécification contraire, la période de récupération doit être de 24 h.
- e) Les caractéristiques acoustiques du DUT sont mesurées à la fin de la période de récupération. Si les valeurs mesurées se trouvent dans les tolérances des valeurs stipulées sur la fiche technique, le DUT peut être considéré satisfaisant aux exigences de cet essai et la valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ est attribuée à la valeur d'entrée maximale assignée $\tilde{u}_{\text{max}}$.

Si le DUT a été endommagé pendant cet essai ou si les caractéristiques mesurées sont hors des tolérances définies, l'essai doit être répété en utilisant un DUT neuf avec une valeur d'essai d'entrée $\tilde{u}_{\text{test}}$ réduite jusqu'à ce que la valeur d'entrée maximale assignée $\tilde{u}_{\text{max}}$ soit déterminée.

17.1.3 Mesure indirecte basée sur SPL_{max}

- a) Pour déterminer la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\text{max}}$ en fonction du niveau de pression acoustique maximal assigné SPL_{max} , le DUT est placé dans des conditions de mesure normales selon 7.3.
- b) Le DUT est excité par un stimulus mis à l'échelle $u(t) = \alpha[i]x(t)$ tel qu'il est indiqué par le fabricant selon 17.1. Dans la première étape de la mesure $I = 0$, un facteur de mise à l'échelle $\alpha[0]$ suffisamment faible est utilisé pour éviter d'endommager l'appareil soumis à essai.
- c) Le signal de pression acoustique $p(t, r_e)$ est mesuré au point d'évaluation r_e et le niveau de pression acoustique $SPL[i]$ résultant pour le stimulus avec la valeur efficace $\tilde{u}[i]$ est calculé pour le temps d'excitation $T_s = 1 \text{ s}$.
- d) Après une période d'attente minimale de 10 s, le facteur de mise à l'échelle est ajusté par

$$\alpha[i+1] = \alpha[i] 10^{(SPL_{\text{max}} - SPL[i])/20}$$

et les étapes de mesure 17.1.2 b) à 17.1.2 d) sont répétées jusqu'à ce que l'écart entre $SPL[i]$ et SPL_{max} soit inférieur à 0,1 dB.

La valeur efficace finale $\tilde{u}[i]$ est attribuée à la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\text{max}}$.

NOTE Dans les cas où un filtre ayant une largeur de bande égale à la plage de fréquences assignée n'est pas disponible, une approximation peut être effectuée en divisant cette plage de fréquences en n ensembles de bandes d'1/3 d'octave conformément à l'IEC 61260-1. Les filtres d'1/3 d'octave sont alimentés avec le stimulus à large bande. Par conséquent, la tension appliquée au DUT dans chaque bande de fréquences d'1/3 d'octave est égale à $\tilde{u}/n$. Le niveau de pression acoustique est donné par la formule:

$$SPL[i] = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{p_0^2} \sum_{k=1}^n \tilde{p}_k^2 \right)$$

où $\tilde{p}_k$ désigne la valeur de la pression acoustique efficace dans une bande d'1/3 d'octave donnée et p_0 désigne la pression acoustique de référence normalisée (20 μ Pa).

17.2 Niveau d'entrée maximal

Exprimé en décibels, le niveau d'entrée maximal doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ et une valeur de référence stipulée.

La valeur efficace de 1 V doit être utilisée comme valeur de référence si l'entrée maximale est exprimée en dB(V). La valeur à pleine échelle numérique est utilisée comme valeur de référence si le niveau d'entrée maximal est exprimé en dB(FS).

18 Pression acoustique de sortie

18.1 Pression acoustique maximale assignée

18.1.1 Conditions à spécifier

Le fabricant spécifie la pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e)$ définie comme la valeur efficace

$$\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e) = \left(\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p^2(t, \mathbf{r}_e) dt \right)^{1/2}$$

du signal de pression acoustique mesuré $p(t, \mathbf{r}_e)$ au point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ spécifié dans les conditions de mesure normales, conformément à 7.3, en utilisant un stimulus à large bande spécifié limité par les fréquences f_l et f_u de la bande de fréquences assignée au sein de la période d'excitation $T_s = 1$ s.

Les propriétés du stimulus à large bande $x(t)$, comme les propriétés spectrales, le facteur de crête et les limites inférieure et supérieure de la bande de fréquences assignée doivent être indiquées par le fabricant.

NOTE La pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\max}(\mathbf{r}_e)$ peut être déterminée soit par une mesure directe, soit dérivée indirectement de la valeur d'entrée maximale assignée $\tilde{u}_{\max}$ conformément à 17.1.

18.1.2 Mesure directe

L'équipement suivant ou son équivalent doit être inclus dans la chaîne de mesure:

- un générateur de bruit rose et/ou un générateur à fréquences multiples selon 8.5;

NOTE 1 Un DUT conçu pour des signaux audio pleine bande peut être soumis à essai en utilisant un stimulus à large bande tel qu'un complexe à fréquences multiples ayant une résolution suffisante $R = 10$, un signal de bruit rose ou tout signal similaire à du bruit tel que le signal du programme simulé selon l'Annexe C. Pour un DUT ayant

une petite largeur de bande utilisable dans l'application visée (par exemple un caisson de graves), une approximation suffisamment correcte du signal «à large bande» peut être un signal sinusoïdal, un signal en rafale de Hanning ou un bruit à bande étroite selon l'Article 8.

- un réseau de pondération optionnel pour obtenir le signal de bruit selon l'Annexe C;
- un réseau d'écèlement optionnel pour réaliser un facteur de crête défini;
- un amplificateur de puissance optionnel pour un DUT électroacoustique passif.

L'amplitude de la réponse en fréquence entre l'entrée de l'amplificateur de puissance optionnel et la tension aux bornes d'entrée d'un DUT passif doit être constante avec une tolérance de $\pm 0,5$ dB dans la plage de fréquences de 20 Hz à 20 kHz. Le bruit écelé aux bornes du haut-parleur soumis à essai doit avoir une distribution de fréquence telle que spécifiée dans l'Annexe C et un rapport crête/efficace compris entre 1,8 et 2,2. L'amplificateur de puissance optionnel doit posséder une impédance de sortie inférieure ou égale à $1/3$ de l'impédance assignée du DUT passif. L'amplificateur doit être capable d'alimenter le DUT passif avec une tension sinusoïdale de crête au moins égale au double de la tension efficace du bruit d'essai sans écellement.

- a) Le fabricant définit une valeur d'essai $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ en tant que candidate pour la pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\text{max}}(r_e)$, dans la bande de fréquences assignée. La valeur d'essai choisie prend en considération l'application prévue et le comportement du DUT (par exemple échauffement admissible et excursion mécanique maximale de la bobine acoustique), ce qui permet d'éviter des dommages au DUT pendant l'essai qui suit.

NOTE 2 L'Annexe D présente les considérations et les mesures qui sont exigées pour spécifier la valeur d'essai $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$.

- b) Le DUT doit être placé dans un environnement acoustique, conformément à l'Article 9, et la valeur d'essai $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ doit être générée au point d'évaluation spécifié r_e en réglant l'amplitude de stimulus. Cette mesure doit utiliser le stimulus à large bande tel qu'il est indiqué par la valeur d'essai du fabricant en 18.1.1 et une durée d'excitation de $T_s = 1$ s avec une pause suffisante d'au moins 10 s entre les mesures successives afin d'éviter un échauffement du DUT et une compression thermique de l'amplitude de sortie. La valeur efficace du stimulus d'entrée qui génère la valeur d'essai $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ est utilisée comme valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ pour d'autres essais.
- c) Le DUT doit être placé dans une pièce de taille suffisante (généralement $> 8 \text{ m}^3$) avec les conditions climatiques spécifiées en 7.2. La taille de la pièce dépend de l'espace exigé autour du DUT pour éviter toute charge acoustique supplémentaire du DUT et pour garantir des conditions climatiques stables durant l'essai.
- d) Le DUT doit être soumis à essai dans des conditions climatiques spécifiées pendant une période continue de 100 h à la valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ du stimulus d'entrée.

NOTE 3 Du fait que la valeur d'essai $\tilde{u}_{\text{test}}$ est constante pendant l'essai de 100 h, l'échauffement du DUT provoque une compression thermique de la sortie acoustique et le niveau de pression acoustique chute au-dessous de la pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$. Cet effet peut être évalué en mesurant la compression selon 19.4.

- e) Immédiatement après l'essai, le DUT doit être stocké dans des conditions climatiques normalement rencontrées dans des pièces ou des laboratoires ordinaires. Sauf spécification contraire, la période de récupération doit être de 24 h.
- f) Les caractéristiques électriques, mécaniques et acoustiques du DUT sont mesurées à la fin de la période de récupération. Si les valeurs mesurées se trouvent dans les tolérances des valeurs stipulées sur la fiche technique, le DUT peut être considéré satisfaisant aux exigences de cet essai et la valeur d'essai $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ est attribuée à la pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\text{max}}(r_e)$. Le déplacement admissible de la fréquence de résonance doit être défini dans la fiche technique.

Si le DUT a été endommagé pendant cet essai ou si les caractéristiques mesurées sont hors des tolérances définies, l'essai doit être répété en utilisant un DUT neuf avec une valeur d'essai $\tilde{p}_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ réduite jusqu'à ce que la pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$ soit déterminée.

18.1.3 Mesure indirecte basée sur la valeur d'entrée maximale

- Le DUT doit être placé dans un environnement acoustique, conformément à l'Article 9, et la valeur efficace du stimulus d'entrée est réglée à la valeur d'entrée maximale assignée $\tilde{u}_{\text{max}}$ du stimulus selon 17.1.
- La valeur efficace de la pression acoustique $\tilde{p}(\mathbf{r}_e)$ doit être mesurée au point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ spécifié et attribuée à la pression acoustique maximale assignée $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$.

18.2 Niveau de pression acoustique maximal assigné

Exprimé en décibels, le niveau de pression acoustique maximal assigné SPL_{max} dans une bande de fréquences assignée doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre la valeur de la pression acoustique efficace $\tilde{p}_{\text{max}}(\mathbf{r}_e)$, mesurée selon 18.1, et la pression acoustique de référence normalisée (20 μPa).

18.3 Niveau de pression acoustique maximal à court terme

18.3.1 Conditions à spécifier

Le niveau de pression acoustique maximal à court terme SPL_{short} est défini comme le niveau

$$SPL_{\text{short}}(\mathbf{r}_e) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_s p_0^2} \int_0^{T_s} p^2(t, \mathbf{r}_e) dt \right)$$

du signal de pression acoustique efficace $p(t)$ au point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ spécifié, référencé à la pression acoustique de référence ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) en utilisant une séquence de stimulus à large bande à déclenchement périodique consistant en une période d'excitation de $T_s = 1 \text{ s}$ suivie d'un intervalle de refroidissement de $T_{\text{off}} = 1 \text{ min}$, répété 60 fois. Un signal complexe à fréquences multiples ayant une résolution suffisante $R = 10$ ou un signal de bruit rose ou tout signal similaire à du bruit tel que le signal du programme simulé selon l'Annexe C peut être utilisé en tant que stimulus. Les propriétés du stimulus à large bande $x(t)$, comme les propriétés spectrales, le facteur de crête et les limites inférieure et supérieure de la bande de fréquences assignée doivent être indiqués.

NOTE Le niveau de pression acoustique maximal à court terme SPL_{short} peut être supérieur à la valeur assignée SPL_{max} , car la courte période d'excitation $T_s = 1 \text{ s}$ et l'intervalle de refroidissement ($T_{\text{off}} = 1 \text{ min}$) maintiennent l'échauffement thermique et la compression de puissance à un niveau négligeable.

18.3.2 Méthode de mesure

- Le fabricant définit une valeur d'essai $SPL_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ en tant que candidate pour le niveau de pression acoustique maximal à court terme $SPL_{\text{short}}(\mathbf{r}_e)$ dans la bande de fréquences assignée. La valeur d'essai $SPL_{\text{test}}(\mathbf{r}_e)$ prend en considération l'application prévue et le comportement du DUT (par exemple échauffement admissible et excursion mécanique maximale de la bobine acoustique), ce qui permet d'éviter des dommages au DUT pendant l'essai qui suit.
- Le DUT doit être placé dans un environnement acoustique selon l'Article 9. Durant la mesure de la pression acoustique au point d'évaluation $\mathbf{r}_e$ spécifié, l'amplitude du stimulus

est réglée de manière à obtenir une pression acoustique égale à la valeur d'essai spécifiée par le fabricant au point a) en utilisant une période d'excitation de $T_s = 1$ s suivie d'un intervalle de refroidissement de $T_{off} = 1$ min.

- c) Après le réglage, la séquence de la période d'excitation et de l'intervalle de refroidissement définis doit être répétée 60 fois.
- d) Après l'essai, aucun signal n'est délivré au DUT pendant une période de récupération de 5 min.
- e) Les caractéristiques électriques, mécaniques et acoustiques du DUT sont mesurées à la fin de la période de récupération. Si les valeurs mesurées se trouvent dans les tolérances des valeurs stipulées sur la fiche technique, le DUT peut être considéré satisfaisant aux exigences de cet essai et la valeur d'essai $SPL_{test}(r_e)$ est attribuée à la pression acoustique assignée $SPL_{short}(r_e)$. La fréquence de résonance peut subir une modification, mais l'acceptabilité de cette modification fait l'objet de négociations et elle doit donc être indiquée.

Si le DUT a été endommagé pendant cet essai ou si les caractéristiques mesurées sont hors des tolérances définies, l'essai doit être répété en utilisant un DUT neuf avec une valeur d'essai $SPL_{test}(r_e)$ réduite jusqu'à ce que le niveau de pression acoustique maximal à court terme $SPL_{short}(r_e)$ soit déterminé.

18.4 Niveau de pression acoustique maximal à long terme

18.4.1 Conditions à spécifier

Le niveau de pression acoustique maximal à long terme SPL_{long} est le niveau

$$SPL_{long}(r_e) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_s p_0^2} \int_0^{T_s} p^2(t, r_e) dt \right)$$

de la valeur efficace du signal de pression acoustique $p(t)$ au point d'évaluation r_e spécifié, référencé à la pression acoustique de référence ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) en utilisant un stimulus à large bande avec une période d'excitation de $T_s = 1$ min et un intervalle de refroidissement de $T_{off} = 2$ min.

Un signal complexe à fréquences multiples ayant une résolution suffisante $R = 10$ ou un signal de bruit rose ou tout signal similaire à du bruit tel que le signal du programme simulé selon l'Annexe C peut être utilisé en tant que stimulus. Les propriétés du stimulus à large bande $x(t)$, comme les propriétés spectrales, le facteur de crête, les durées de T_s et T_{off} et les limites inférieure et supérieure de la bande de fréquences assignée doivent être indiquées par le fabricant.

NOTE Il est possible que le niveau de pression acoustique maximal à long terme SPL_{long} soit supérieur à la valeur assignée SPL_{max} , car l'intervalle de refroidissement $T_{off} = 2$ min réduit l'échauffement thermique et la compression de puissance constatés lors de l'essai de 100 h selon 18.1.2.

18.4.2 Méthode de mesure

- a) Le fabricant définit une valeur d'essai $SPL_{test}(r_e)$ en tant que candidate pour le niveau de pression acoustique maximal à long terme $SPL_{long}(r_e)$ dans la bande de fréquences assignée. La valeur d'essai $SPL_{test}(r_e)$ prend en considération l'application prévue et les particularités du DUT (par exemple échauffement admissible et excursion mécanique maximale de la bobine acoustique), ce qui permet d'éviter des dommages au DUT pendant l'essai qui suit.

- b) Le DUT doit être placé dans un environnement acoustique selon l'Article 9. Durant la mesure de la pression acoustique au point d'évaluation r_e spécifié, l'amplitude du stimulus est réglée de manière à obtenir une pression acoustique égale à la valeur d'essai spécifiée par le fabricant en 18.4.2 a) en utilisant une période d'excitation de $T_s = 1$ min suivie d'un intervalle de refroidissement de $T_{off} = 2$ min.
- c) Après le réglage, la séquence de la période d'excitation et de l'intervalle de refroidissement définis doit être répétée 10 fois.
- d) Après l'essai, aucun signal n'est délivré au DUT pendant une période de récupération de 1 h.
- e) Les caractéristiques électriques, mécaniques et acoustiques du DUT sont mesurées à la fin de la période de récupération. Si les valeurs mesurées se trouvent dans les tolérances des valeurs stipulées sur la fiche technique, le DUT peut être considéré satisfaisant aux exigences de cet essai et la valeur d'essai $SPL_{test}(r_e)$ est attribuée au niveau de pression acoustique à long terme $SPL_{long}(r_e)$. La fréquence de résonance peut subir une modification, mais l'acceptabilité de cette modification fait l'objet de négociations et elle doit donc être indiquée.

Si le DUT a été endommagé pendant cet essai ou si les caractéristiques mesurées sont hors des tolérances définies, l'essai doit être répété en utilisant un DUT neuf avec une valeur d'essai $SPL_{test}(r_e)$ réduite jusqu'à ce que le niveau de pression acoustique maximal à long terme $SPL_{long}(r_e)$ soit déterminé.

18.5 Pression acoustique dans une bande de fréquences indiquée

18.5.1 Condition à spécifier

La pression acoustique $\tilde{p}(r)$ produite par un DUT à un point de mesure r indiqué excité avec un signal de bruit rose à bande limitée ayant une valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ indiquée.

18.5.2 Méthode de mesure

- a) Le haut-parleur doit fonctionner dans des conditions de mesure normales.

Si la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{max}$ n'est pas indiquée par le fabricant, elle peut être déterminée en utilisant le niveau de pression acoustique maximal assigné SPL_{max} selon 18.2.

La largeur de bande d'un signal de bruit rose est limitée aux limites de fréquence indiquées en utilisant un filtre passe-bande ayant des pentes d'au moins 24 dB/octave. La valeur efficace du stimulus est réglée à la valeur indiquée $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ et appliquée à l'entrée du DUT.

- b) La pression acoustique $\tilde{p}(r)$ doit être mesurée au point de mesure r indiqué.
- c) Tout écart des conditions indiquées en 18.5.2 a) et b) doit être indiqué avec les résultats.

18.6 Niveau de pression acoustique dans une bande de fréquences indiquée

Exprimé en décibels, le niveau de pression acoustique dans une bande de fréquences indiquée doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre la pression acoustique $\tilde{p}(r)$, mesurée selon 18.5, et la pression acoustique de référence normalisée (20 μ Pa).

18.7 Pression acoustique moyenne dans une plage de fréquences indiquée

18.7.1 Condition à spécifier

La racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés de la pression acoustique $\tilde{p}_k$ de toutes les sous-bandes d' $1/n^e$ d'octave avec $k = 1, \dots, K$ et $n \geq 3$ qui remplissent la plage de fréquences indiquée.

Les sous-bandes d' $1/3$ d'octave avec $n = 3$ telles que définies par l'IEC 61260-1 doivent être utilisées si les limites supérieure et inférieure de la bande de fréquences indiquée correspondent aux limites des bandes d' $1/3$ d'octave.

18.7.2 Méthode de mesure

- La mesure doit être effectuée conformément à 18.5.
- Le signal de pression acoustique $\tilde{p}(\mathbf{r})$ mesuré au point de mesure $\mathbf{r}$ est analysé à l'aide d'un ensemble de filtres ayant une largeur de bande d' $1/n^e$ d'octave, ce qui génère la valeur efficace de la pression acoustique $\tilde{p}_k$ de chaque sous-bande avec $k = 1, \dots, K$.
- La pression acoustique moyenne $\tilde{p}_m$ dans la plage de fréquences indiquée est déterminée par la formule:

$$\tilde{p}_m = \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\tilde{p}_k)^2 \right]^{1/2}$$

18.8 Niveau de pression acoustique moyen dans une plage de fréquences indiquée

Exprimé en décibels, vingt fois le logarithme du rapport entre $\tilde{p}_m$ selon 18.7 et la pression acoustique de référence normalisée (20 μPa).

19 Réponse en fréquence de la composante fondamentale

19.1 Fonction de transfert

19.1.1 Conditions à spécifier

La fonction de transfert $H(f, \mathbf{r})$ entre le signal d'entrée $u(t)$ et la pression acoustique de sortie $p(t, \mathbf{r})$ au point de mesure $\mathbf{r}$, mesurée en utilisant un stimulus à large bande $\tilde{u}(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ mis à l'échelle par la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ et un facteur de mise à l'échelle α . Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

NOTE La fonction de transfert mesurée avec un stimulus à forte amplitude peut être affectée par les propriétés non linéaires et thermiques du DUT.

La réponse de transfert linéaire doit être mesurée dans le domaine des signaux faibles en utilisant un stimulus atténué (facteur de mise à l'échelle $\alpha \leq 0,1$) ou en réalisant des mesures de la réponse à des niveaux réduits jusqu'à ce que la réponse observée soit inchangée, ce qui vérifie les conditions linéaires.

19.1.2 Méthode de mesure

- Pour évaluer le comportement non linéaire du DUT, le système électroacoustique est excité par le stimulus $\tilde{u}(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ en utilisant la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ et un facteur de mise à l'échelle α indiqué. Il est recommandé d'utiliser un signal à modulation de fréquence pulsée sinusoïdal ou un signal complexe à fréquences multiples selon 8.2 et 8.5.

- b) Le signal de pression acoustique $p(t, \mathbf{r})$ est mesuré au point de mesure $\mathbf{r}$ indiqué et l'amplitude complexe de la composante fondamentale $\underline{P}_{\text{fund}}(f, \mathbf{r}) = F\{p(t, \mathbf{r})\}$ par rapport à la fréquence instantanée f est calculée en utilisant une transformation temps-fréquence telle que la transformée de Fourier $F\{\}$.
- c) Les amplitudes complexes de la composante fondamentale $\underline{U}(f)$ par rapport à la fréquence instantanée f sont déterminées à partir du stimulus $u(t)$ en utilisant le mapping fréquence-temps de la modulation de fréquence pulsée $x(t)$.

NOTE 1 Le mapping fréquence-temps logarithmique du signal à modulation de fréquence pulsée peut être utilisé pour séparer les composantes fondamentales et harmoniques, voir [17].

- d) La fonction de transfert complexe est calculée par

$$\underline{H}(f, \mathbf{r}) = \frac{\underline{P}_{\text{fund}}(f, \mathbf{r})}{\underline{U}(f)}$$

qui produit la réponse en amplitude $|\underline{H}(f, \mathbf{r})|$ et la réponse en phase $\phi(f, \mathbf{r}) = \arg(\underline{H}(f, \mathbf{r}))$.

- e) La réponse impulsionnelle $h(t, \mathbf{r}) = F^{-1}\{\underline{H}(f, \mathbf{r})\}$ peut être calculée en utilisant une transformation fréquence-temps telle que la transformée de Fourier inverse $F^{-1}\{\}$.

NOTE 2 Le fenêtrage du temps peut être appliqué à la réponse impulsionnelle afin de supprimer les réflexions des limites acoustiques (par exemple murs de la pièce) et pour générer des conditions de champ libre simulé selon 9.4. Un transfert complexe corrigé peut être généré en appliquant une transformée de Fourier à la réponse impulsionnelle fenêtrée.

- f) Le temps de propagation de groupe moyen $\tau_{\text{mean}}(\mathbf{r})$ peut être déterminé en recherchant le maximum de la courbe énergie-temps dans la réponse impulsionnelle $h(t, \mathbf{r})$.

NOTE 3 La courbe énergie-temps est l'enveloppe de la réponse impulsionnelle, qui peut être calculée à l'aide de la transformée de Hilbert. Une approximation utile est le carré du logarithme de la réponse impulsionnelle.

- g) La phase résiduelle

$$\phi_{\text{res}}(f, \mathbf{r}) = \phi(f, \mathbf{r}) - 360^\circ f \tau_{\text{mean}}(\mathbf{r})$$

représente la phase minimale + tout le comportement passant du DUT séparé de la phase correspondant au temps de propagation de groupe moyen [18].

- h) La réponse en phase totale non enveloppée

$$\phi_{\text{un}}(f, \mathbf{r}) = \phi_{\text{res}}(f, \mathbf{r}) + 360^\circ f \tau_{\text{mean}}(\mathbf{r})$$

est calculée en supprimant l'enveloppe de la réponse en phase résiduelle et en ajoutant la phase correspondante avec le temps de propagation de groupe moyen.

NOTE 4 La suppression de l'enveloppe est un processus nécessaire mais ambigu, sensible au bruit et source d'erreurs pour les données de phase discrètes en fréquence (au moins en acoustique).

La résolution en fréquence doit être suffisamment élevée pour que la différence de phase entre deux fréquences discrètes n'excède pas $\pm 90^\circ$.

- i) La réponse en temps de propagation de groupe

$$\tau(f) = -\frac{1}{360^\circ} \frac{d\phi_{\text{un}}(f)}{df}$$

peut être calculée par différenciation de la réponse en phase totale non enveloppée $\phi_{\text{un}}(f, \mathbf{r})$.

- j) Des courbes lissées de la réponse en amplitude et en phase sont générées en appliquant une intégration spectrale à la réponse en fréquence $\underline{H}(f, \mathbf{r})$ en indiquant la technique de lissage appliquée (intégration complexe ou intégration séparée de la réponse en niveau et en phase) ainsi que la largeur de bande de lissage utilisée B , qui est généralement comprise entre 1/3 d'octave et 1/12e d'octave.

NOTE 5 L'intégration spectrale génère des courbes lissées, lesquelles offrent les avantages suivants:

- séparation visuelle améliorée de multiples courbes tracées sur le même axe, par exemple réponses hors de l'axe directionnelles;
- conversion de l'intégration linéaire en une intégration exponentielle équivalente;
- comme substitut pour l'intégration des résultats provenant de plusieurs appareils, par exemple un "échantillon idéal virtuel" en vue de générer des limites de tolérance;
- interprétation simplifiée des crêtes et des creux en considération de l'audibilité spectrale;
- réduction des erreurs causées par un SNR médiocre et les réflexions de la pièce dans la mesure originale.

La réponse en amplitude de la fonction de transfert peut être présentée comme égale à vingt fois le logarithme du rapport entre la valeur absolue de la fonction de transfert complexe $|\underline{H}(f, \mathbf{r})|$ et c_{ref} qui possède une valeur de référence indiquée (par exemple 1 Pa/V).

19.2 Réponse en fréquence du SPL

19.2.1 Conditions à spécifier

Le niveau de pression acoustique $SPL(f, \mathbf{r})$ en fonction de la fréquence, mesuré dans des conditions normales au point de mesure $\mathbf{r}$ en utilisant un signal à bande étroite ayant une largeur de bande B et une fréquence centrale f . Le signal d'entrée $\tilde{u}(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ possède une valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ constante pour toutes les fréquences f mises à varier dans la plage de fréquences assignée. Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

NOTE La réponse en fréquence du SPL mesurée aux amplitudes élevées dépend de l'interaction entre le stimulus et les propriétés linéaires, non linéaires et thermiques du DUT.

Les propriétés linéaires doivent être mesurées dans le domaine des signaux faibles en utilisant un petit facteur de mise à l'échelle ($\alpha \leq 0,1$) ou en réalisant des mesures de la réponse à des niveaux réduits jusqu'à ce que la réponse observée soit inchangée, ce qui vérifie les conditions linéaires.

La représentation graphique de la réponse en fréquence du SPL doit correspondre à l'IEC 60263 afin de garantir que les résultats ne sont pas étirés ou compressés.

19.2.2 Méthode de mesure

- a) Le haut-parleur doit fonctionner dans des conditions de mesure normales.
- b) Si la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\text{max}}$ n'est pas indiquée par le fabricant, elle peut être déterminée en utilisant le niveau de pression acoustique maximal assigné SPL_{max} selon 18.6.
- c) Pour chaque fréquence f dans la plage de fréquences assignée $f_1 \leq f \leq f_u$, le $SPL(f)$ peut être déterminé selon l'une des deux méthodes ci-après:
 - 1) Excitation du DUT avec un son en régime permanent ou avec un signal de bruit filtré à bande étroite ayant une largeur de bande indiquée B avec une valeur efficace $\alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ durant le temps de mesure T_s . La pression acoustique $p(t, \mathbf{r})$ est mesurée au point de mesure $\mathbf{r}$ et filtrée par un filtre passe-bande ayant une largeur de bande B et une fréquence centrale f définies afin de réduire le bruit et la distorsion non linéaire générés par le DUT avant le calcul du niveau de pression acoustique.

- 2) Mesure de la fonction de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r})$ en utilisant un stimulus à large bande durant le temps de mesure T_s conformément à 19.1. Le $SPL(f)$ en dB est calculé par

$$SPL(f, \mathbf{r}) = 20 \log \left(\frac{|H(f, \mathbf{r})| \alpha \tilde{u}_{\max}}{p_0} \right)$$

- d) Utilisation de la pression acoustique de référence ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

- 1) Les mesures sont réalisées à une résolution spectrale suffisante sur la bande de fréquences assignée. Un lissage supplémentaire de la réponse en fréquence peut être appliqué si la largeur de bande B de l'intégration spectrale est indiquée par le fabricant. Les résultats doivent être présentés dans un graphique sous la forme d'une fonction de la fréquence et les conditions de mesure doivent être indiquées.

19.3 Compression à variation dans le temps de l'amplitude de la composante fondamentale

19.3.1 Généralités

La compression de l'amplitude $C(f, t_m)$ est la différence de niveau entre la réponse en fréquence de l'amplitude d'une fonction de transfert à variation dans le temps $\underline{H}(f, \mathbf{r}, t_m)$, mesurée dans l'intervalle $t_m < t < t_m + T_s$, et la fonction de transfert linéaire $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$, mesurée en utilisant un stimulus à large bande à une valeur d'entrée maximale $\alpha u_{\max}$ atténuée.

NOTE La compression de l'amplitude $C(f, t_m)$ est une caractéristique à variation dans le temps (c'est-à-dire une réduction ou une augmentation de la composante fondamentale) qui dépend de la température de la bobine acoustique et des non-linéarités inhérentes dans l'appareil soumis à essai. La compression de l'amplitude correspond à la valeur négative de la fonction de transfert normalisée telle qu'elle est définie dans le document CTA 2010-B.

19.3.2 Méthode de mesure

- a) Le DUT est réglé à la température ambiante.
- b) La fonction de transfert linéaire $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$ est mesurée en utilisant un stimulus à large bande ayant une valeur efficace $\alpha u_{\max}$ durant le temps de mesure $T_s = 1 \text{ s}$ conformément à 19.1.
- c) La fonction de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r}, t_m)$ est mesurée en utilisant un stimulus à large bande au sein de l'intervalle de mesure $t_m < t < t_m + T_s$ conformément à 19.1.
- d) La réponse de la compression de l'amplitude à variation dans le temps doit être calculée à l'aide de:

$$C(f, t_m) = 20 \log \left(\left| \underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max}) \right| \right) - 20 \log \left(\left| \underline{H}(f, \mathbf{r}, t_m) \right| \right)$$

19.4 Compression de l'amplitude à l'entrée maximale

19.4.1 Compression de l'amplitude à court terme

La compression de l'amplitude à court terme $C_{\text{short}}(f)$ est la différence de niveau entre la réponse en fréquence de l'amplitude de la fonction de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r}, u_{\max})$, mesurée en utilisant un stimulus à large bande à la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\max}$ durant le temps de mesure $T_s = 1 \text{ s}$, et la fonction de transfert linéaire $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\max})$, mesurée en utilisant le même stimulus à une valeur d'entrée maximale $\alpha u_{\max}$ atténuée.

NOTE La compression de l'amplitude à court terme $C_{\text{short}}(f)$ révèle les mécanismes non linéaires du transducteur, l'effet du système de protection et les effets de limitation résultants des autres circuits électroniques (par exemple l'amplificateur).

19.4.2 Méthode de mesure

- Le DUT est réglé à la température ambiante.
- La fonction de transfert linéaire $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\text{max}})$ est mesurée en utilisant un stimulus à large bande spécifié ayant une valeur efficace αu_{max} durant le temps de mesure $T_s = 1$ s conformément à 19.1.
- La fonction de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\text{max}})$ est mesurée en utilisant un stimulus à large bande spécifié ayant la valeur d'entrée maximale u_{max} durant le temps de mesure $T_s = 1$ s conformément à 19.1.
- La réponse de la compression de l'amplitude à court terme doit être calculée à l'aide de:

$$C_{\text{short}}(f) = 20 \log(|\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha u_{\text{max}})|) - 20 \log(|\underline{H}(f, \mathbf{r}, u_{\text{max}})|)$$

19.4.3 Compression de l'amplitude à long terme

La compression de l'amplitude à long terme $C_{\text{long}}(f)$ est la différence de niveau entre la réponse en fréquence de l'amplitude de la fonction de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r}, \tilde{u}_{\text{max}})$, mesurée en utilisant un stimulus à large bande à la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\text{max}}$ durant le temps de mesure $T_s = 1$ s après application d'une préexcitation du DUT avec le même stimulus pendant $T_{\text{pre}} = 1$ min, et la fonction de transfert linéaire $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha \tilde{u}_{\text{max}})$, mesurée en avec le même stimulus à valeur d'entrée maximale $\alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ atténuée.

NOTE La compression de l'amplitude à long terme $C_{\text{long}}(f)$ révèle les mécanismes thermiques et non linéaires du transducteur et l'effet du système de protection actif qui limite la sortie maximale de l'appareil soumis à essai.

19.4.4 Méthode de mesure

- Le DUT est réglé à la température ambiante.
- La fonction de transfert linéaire $\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, u_{\text{max}})$ est mesurée en utilisant un stimulus à large bande spécifié ayant une valeur efficace αu_{max} durant le temps de mesure $T_s = 1$ s conformément à 19.1.
- Après avoir excité le DUT par un stimulus à large bande $u(t)$ avec la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\text{max}}$ pendant un temps de préexcitation $T_{\text{pre}} = 1$ min, la fonction de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r}, \tilde{u}_{\text{max}})$ est mesurée en utilisant le même stimulus pendant le temps de mesure $T_s = 1$ s conformément à 19.1.
- La réponse de la compression de l'amplitude à long terme doit être calculée à l'aide de:

$$C_{\text{long}}(f) = 20 \log(|\underline{H}_{\text{lin}}(f, \mathbf{r}, \alpha \tilde{u}_{\text{max}})|) - 20 \log(|\underline{H}(f, \mathbf{r}, \tilde{u}_{\text{max}})|)$$

19.5 Corrections basées sur une mesure de référence en champ libre

19.5.1 Généralités

À chaque fois que la caractéristique d'absorption à basse fréquence de l'environnement d'essai acoustique (murs de la pièce, équipement, etc.) provoque un écart par rapport aux conditions de champ libre au point qu'une mesure exacte de la réponse en champ libre dans des conditions de champ lointain est impossible dans la plage de fréquences assignée selon l'Article 16, la mesure à basse fréquence peut être corrigée soit en filtrant le signal de pression acoustique mesuré avec la fonction de correction du local d'écoute complexe, soit en

corrigeant la réponse en fréquence/amplitude résultante par une fonction de correction du local d'écoute basée sur la valeur réelle.

Un haut-parleur de référence doit être choisi, lequel possède un indice de directivité DI , selon 20.3.4, dont l'écart par rapport à l'indice de directivité DI de l'appareil soumis à essai (DUT) est inférieur ou égal à 0,5 dB sur la plage de fréquences où la correction est exigée et sa réponse en champ libre étalonnée doit s'étendre jusqu'à la fréquence d'intérêt la plus basse.

19.5.2 Correction du signal de pression acoustique mesuré

Cette méthode filtre le signal de pression acoustique mesuré avec la fonction de correction du local d'écoute, laquelle compense une éventuelle distorsion de phase et d'amplitude avant que le signal soit analysé. Il s'agit d'une exigence pour une mesure exacte de la distorsion non linéaire et pour appliquer le fenêtrage de la réponse impulsionnelle à l'appareil soumis à essai.

- a) La réponse de transfert complexe $H_{\text{free}}(f, r)$ du haut-parleur de référence fonctionnant dans des conditions de champ libre doit être mesurée à un point de mesure r défini (par exemple à la distance r sur l'axe de référence).

Pour un haut-parleur de référence uniquement dédié à la reproduction des basses fréquences, tel qu'un caisson de graves, une condition anéchoïque en demi-espace doit être utilisée, sous réserve d'appliquer au DUT une mesure au plancher dans l'environnement d'essai non anéchoïque.

Pour un haut-parleur de référence ayant une réponse en basse fréquence limitée (résonance principale supérieure à 150 Hz), des mesures dans une chambre anéchoïque très grande (8 m × 10 m × 12 m, par exemple) peuvent être suffisamment exactes.

Pour les haut-parleurs de référence ayant une réponse en basse fréquence étendue, les mesures sur une tour (généralement à 10 m ou plus au-dessus du niveau du sol) à l'air libre peuvent devenir nécessaires.

Le fenêtrage peut être appliqué à la réponse impulsionnelle pour supprimer le bruit, sous réserve qu'il n'y ait aucune modification du temps de propagation ni réduction de la résolution spectrale exigée pour capturer les propriétés du haut-parleur de référence.

- b) Le haut-parleur de référence doit être déplacé à une position, dans la pièce ou l'environnement d'essai non anéchoïque, telle que son point de référence r_{ref} et son axe de référence prennent les positions occupées par l'appareil soumis à essai.

La pression acoustique rayonnée générée par le haut-parleur de référence fonctionnant dans les conditions d'essais doit être déterminée au même point de mesure (par exemple distance r sur l'axe de référence) que celui utilisé à l'étape a).

La réponse de transfert complexe $H_{\text{test}}(f, r)$ doit être déterminée conformément à 19.1. Le fenêtrage peut être appliqué à la réponse impulsionnelle pour supprimer le bruit, sous réserve qu'il n'y ait aucune modification du temps de propagation ni réduction de la résolution spectrale exigée pour capturer les propriétés du haut-parleur de référence et l'interaction avec les limites (par exemple les murs de la pièce).

NOTE Pour la mesure de la réponse à basse fréquence d'un système de haut-parleur à plusieurs unités, le point de référence est idéalement le point de référence de l'unité des graves.

- c) La fonction de correction du local d'écoute complexe $C_{\text{room}}(f) = H_{\text{free}}(f) / H_{\text{test}}(f)$ doit être calculée comme le rapport entre la fonction de transfert mesurée dans les conditions de champ libre et d'essais.
- d) Le haut-parleur de référence doit être remplacé par le DUT et le signal de pression acoustique doit être mesuré en utilisant le même équipement. Le signal de pression acoustique $p(t)$ doit être filtré avec la fonction de correction du local d'écoute complexe $C_{\text{room}}(f)$ afin de générer le signal de pression acoustique corrigé $p'(t)$ avec le spectre $P'(f) = P(f)C_{\text{room}}(f)$. Le signal de pression acoustique corrigé $p'(t)$ constitue la base du

traitement du signal spectral et transitoire pour calculer la réponse de transfert complexe $H_{DUT}(f)$ du DUT et les composantes de distorsion.

19.5.3 Correction de la réponse en amplitude

Cette méthode applique une courbe de correction au niveau mesuré de la réponse en amplitude de la composante fondamentale. Cette courbe de correction doit uniquement être utilisée pour corriger la réponse en fréquence aux basses fréquences (< 500 Hz) tout en utilisant des propriétés de fenêtrage définies. Cette technique ne peut pas être utilisée pour corriger les résultats de la mesure de la distorsion non linéaire.

- a) La réponse en amplitude $L_{free}(f) = 20 \log |H_{free}(f)|$ du haut-parleur de référence fonctionnant dans des conditions de champ libre doit être mesurée à un point de mesure r défini (par exemple à la distance r sur l'axe de référence).

Pour un haut-parleur de référence uniquement dédié à la reproduction des basses fréquences, tel qu'un caisson de graves, une condition anéchoïque en demi-espace doit être utilisée, sous réserve d'appliquer au DUT une mesure au plancher dans l'environnement d'essai non anéchoïque.

Pour un haut-parleur de référence ayant une réponse en basse fréquence limitée (résonance principale supérieure à 150 Hz), des mesures dans une chambre anéchoïque très grande (8 m × 10 m × 12 m, par exemple) peuvent être suffisamment exactes.

Pour les haut-parleurs de référence ayant une réponse en basse fréquence étendue, les mesures sur une tour (généralement à 10 m ou plus au-dessus du niveau du sol) à l'air libre peuvent devenir nécessaires. Une fenêtre suffisamment grande pour fournir une résolution spectrale suffisante pour l'appareil soumis à essai doit être appliquée à la réponse impulsionnelle.

- b) Le haut-parleur de référence doit être déplacé à une position, dans la pièce ou l'environnement d'essai non anéchoïque, telle que son point de référence r_{ref} et son axe de référence prennent les positions occupées par l'appareil soumis à essai.

La pression acoustique rayonnée générée par le haut-parleur de référence fonctionnant dans les conditions d'essais doit être déterminée au même point de mesure (par exemple distance r sur l'axe de référence) que celui utilisé à l'étape a).

La réponse en amplitude $L_{test}(f) = 20 \log |H_{test}(f)|$ du haut-parleur de référence fonctionnant dans les conditions d'essais doit être déterminée conformément à 19.1. Le fenêtrage appliqué doit être le même que celui utilisé dans les conditions de champ libre.

NOTE Pour la mesure de la réponse à basse fréquence d'un système de haut-parleur à plusieurs unités, le point de référence est idéalement le point de référence de l'unité des graves.

- c) La courbe de correction basée sur la valeur réelle $C_{room}(f) = L_{free}(f) - L_{test}(f)$ doit être calculée comme étant la différence entre la réponse en amplitude mesurée dans les conditions de champ libre et d'essais.
- d) Le haut-parleur de référence doit être remplacé par le DUT et la réponse en amplitude non corrigée $L_{DUT,test}(f)$ de la pression acoustique doit être mesurée en utilisant le même équipement. Le fenêtrage appliqué doit être le même que celui utilisé dans les conditions de champ libre.
- e) La réponse en amplitude corrigée $L_{DUT}(f) = L_{DUT,test}(f) + C_{room}(f)$ du DUT doit être calculée en additionnant la courbe de correction du local d'écoute à la réponse en amplitude non corrigée.

19.6 Plage de fréquences effective

19.6.1 Conditions à spécifier

La plage de fréquences, limitée par les limites supérieure et inférieure indiquées, pour laquelle la réponse en fréquence mesurée $SPL(f)$ du haut-parleur selon 19.2, mesurée sur l'axe de référence et lissée par une largeur de bande B , ne se trouve pas à plus de 10 dB au-dessous du niveau de pression acoustique moyen SPL_{mean} , calculé sur une plage de

fréquences indiquée (généralement la plage de fréquences assignée). La largeur de bande de lissage préférentielle est 1/12^e d'octave.

19.6.2 Méthode de mesure

- La réponse en fréquence $SPL(f,r)$ doit être mesurée dans la plage de fréquences assignée conformément à l'Article 16 à une résolution correspondant à un filtre à bande étroite ayant une largeur de bande relative B . La largeur de bande relative B doit être indiquée si la valeur par défaut d'1/12^e d'octave n'est pas utilisée.
- La pression acoustique moyenne SPL_{mean} est calculée dans la plage de fréquences indiquée conformément à 18.7.
- La plage de fréquences effective doit être déterminée là où la réponse en fréquence lissée ne se trouve pas à plus de 10 dB au-dessous du niveau de pression acoustique moyen SPL_{mean} .

19.7 Latence interne

19.7.1 Conditions à spécifier

La latence interne du DUT est la différence entre le temps de propagation de groupe moyen du DUT et le temps exigé par l'onde sonore pour se propager du point de référence r_{ref} au point de mesure r .

NOTE Pour de nombreux appareils électroniques, la latence désigne le temps de propagation du signal entre les bornes d'entrée et de sortie. Pour un haut-parleur, le signal de sortie est évalué au point de référence r_{ref} qui, suivant la fréquence, peut ne pas être identique au centre acoustique. Par conséquent, la latence interne est une estimation grossière du temps de propagation généré par les composants électroniques dans le haut-parleur.

19.7.2 Méthodes de mesure

- Le temps de propagation de groupe moyen $\tau_{\text{mean}}(r)$ entre le signal d'entrée $u(t)$ et le signal de pression acoustique $p(t,r)$ au point de mesure indiqué r doit être mesuré conformément à 19.1.2 f).
- La latence interne causée par le traitement numérique du signal et les autres composants électroniques doit être déterminée par la formule:

$$\tau_{\text{lat}} = \tau_{\text{mean}} - \frac{|r - r_{\text{ref}}|}{c}$$

- où c désigne la vitesse du son.

20 Caractéristiques directionnelles

20.1 Généralités

Le son direct rayonné depuis l'appareil soumis à essai est décrit par les caractéristiques directionnelles [19] utilisées pour prédire la pression acoustique à des points donnés par rapport à la source. Si seules les données de champ lointain sont mesurées pour l'appareil soumis à essai, la pression acoustique peut seulement être modélisée pour les points se trouvant au sein du champ lointain défini approximativement de l'appareil. Une mesure tridimensionnelle plus complète effectuée dans le champ proche, combinée avec des techniques d'expansion de l'onde, peut être utilisée pour modéliser à la fois le champ proche et le champ lointain de l'appareil [20].

20.2 Champ acoustique direct dans l'espace 3D

20.2.1 Fonction de transfert directionnelle

20.2.1.1 Conditions à spécifier

La fonction de transfert directionnelle $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ entre le signal d'entrée $u(t)$ et la pression acoustique $p(t, \mathbf{r})$ du son direct mesuré au point de mesure $\mathbf{r}$ doit être spécifiée. Le point de mesure $\mathbf{r}$ est décrit par la distance en coordonnées sphériques r , l'angle azimutal ϕ et l'angle θ dans l'environnement acoustique indiqué conformément à l'Article 9.

20.2.1.2 Méthodes de mesure

- La fonction de transfert $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ doit être mesurée dans les conditions de champ libre ou de champ libre simulé conformément à l'Article 9, sauf si l'influence de l'environnement acoustique (par exemple taille limitée de l'écran acoustique) ne peut pas être séparée du DUT.
- La position des points de mesure est définie dans la région d'intérêt en coordonnées sphériques avec une résolution spatiale exigée pour l'application particulière.
- La fonction de transfert $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ est mesurée conformément à 19.1 en utilisant un stimulus atténué (facteur d'atténuation $\alpha = 0,1$) ou en effectuant les mesures de la réponse à des niveaux réduits jusqu'à ce que la réponse observée reste inchangée, en vérifiant les conditions linéaires.

NOTE 1 Pour les systèmes où seules des données de champ lointain sont exigées, il est d'usage courant de mesurer la fonction de transfert directionnelle à une distance fixe r qui se trouve approximativement dans le champ lointain du DUT ($r > r_{\text{far}}$).

NOTE 2 Des mesures réalisées en deux points de mesure dans les mêmes directions ($\theta_1 = \theta_2$, $\phi_1 = \phi_2$) mais à des distances différentes ($r_1 \neq r_2$) peuvent être utilisées pour contrôler la condition de champ lointain et pour déterminer la distance critique r_{far} conformément à 10.2.1.

20.2.2 Données de champ lointain extrapolées

20.2.2.1 Conditions à spécifier

Une fonction de transfert directionnelle $\underline{H}(f, r_2, \phi_2, \theta_2)$ entre le signal d'entrée $u(t)$ et la pression acoustique $p(t, \mathbf{r}_2)$ du son direct dans le champ lointain à une distance $r_2 > r_{\text{far}}$ et aux angles (ϕ_2, θ_2) est extrapolée à partir d'une fonction de transfert $\underline{H}(f, r_1, \phi_1, \theta_1)$ mesurée dans le champ lointain à la distance $r_1 > r_{\text{far}}$ aux mêmes angles ($\phi_1 = \phi_2$, $\theta_1 = \theta_2$).

20.2.2.2 Méthodes de mesure

- La fonction de transfert $\underline{H}(f, r_1, \theta_1, \phi_1)$ doit être mesurée dans le champ lointain à la distance $r_1 > r_{\text{far}}$ dans des conditions de champ libre ou de champ libre simulé conformément à l'Article 9, sauf si l'influence de l'environnement acoustique (par exemple taille limitée de l'écran acoustique) ne peut pas être séparée du DUT.
- La fonction de transfert $\underline{H}(f, r_2, \theta_2, \phi_2)$ jusqu'à un point à la distance $r_2 > r_{\text{far}}$ dans la même direction est calculée par

$$\underline{H}(f, r_2, \theta_2, \phi_2) = \underline{H}(f, r_1, \theta_1, \phi_1) \frac{r_1}{r_2} e^{-jk(r_2 - r_1)}$$

20.2.3 Paramètre de l'expansion du champ acoustique holographique

20.2.3.1 Conditions à spécifier

Les coefficients $C(f)$, l'ordre d'approximation $N(f)$ dépendant de la fréquence f , le rayon de validité a et les fonctions de base générales $\mathbf{B}(f, \mathbf{r})$ de l'expansion de l'onde décrivent la fonction de transfert directionnelle

$$\underline{H}(f, \mathbf{r}) = C(f) \mathbf{B}(f, \mathbf{r})$$

entre le signal d'entrée $u(t)$ et la pression acoustique de sortie $p(t, \mathbf{r})$ au point de mesure $\mathbf{r}$ à une distance $r = |\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}|$ du point de référence $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ qui est supérieure au rayon de validité a comme représenté à la Figure 3.

NOTE Les fonctions de base $\mathbf{B}(f, \mathbf{r})$ sont des solutions générales de l'équation de l'onde et sont indépendantes des propriétés du DUT particulier. Les harmoniques sphériques et les fonctions de Hankel sont des fonctions de base appropriées des ondes sonores générées par un système électroacoustique compact tel qu'il est représenté dans l'Annexe B.

La région de validité doit être définie en spécifiant l'espace (2π demi-espace ou 4π plein espace) de l'expansion et le rayon de la sphère, qui se trouve à l'extérieur de la surface de balayage S_s .

20.2.3.2 Méthode de mesure

- a) Les multiples points de mesure $\mathbf{r}_i$ avec $i = 1, \dots, M$ sont définis sur au moins une surface de balayage S_k avec $k = 1, \dots$ dans le champ proche ou lointain du DUT en veillant à une résolution spatiale suffisante.

NOTE Une condition d'espace libre simulée selon 9.4 et 9.5 peut être générée en réalisant un balayage supplémentaire sur une deuxième surface de balayage S_2 placée entre la surface S_{DUT} du DUT et la première surface de balayage S_1 , comme représenté à la Figure 3. Des techniques de séparation de l'onde [20] peuvent être utilisées pour séparer le son direct sortant du son réfléchi entrant généré par l'environnement acoustique.

- b) Les fonctions de transfert $\underline{H}(f, \mathbf{r}_i)$ entre le signal d'entrée $u(t)$ et la pression acoustique $p(t, \mathbf{r}_i)$ aux points de mesure $\mathbf{r}_i$ avec $i = 1, \dots, M$ sont mesurées sur les surfaces de balayage S_k avec $k = 1, 2, \dots$ selon 19.1.
- c) Les coefficients d'expansion $C(f)$ sont estimés en garantissant une erreur d'ajustement minimale, laquelle est le carré de la différence entre la pression acoustique mesurée et la pression acoustique prédite à tous les points de mesure $\mathbf{r}_i$ avec $i = 1, \dots, M$. L'ordre $N(f)$ est déterminé afin de garantir que l'erreur d'ajustement de l'expansion de l'onde reste inférieure à un seuil défini. Le rayon a qui décrit la validité de l'expansion est déterminé en recherchant une sphère ayant le plus petit rayon centré sur le point de référence $\mathbf{r}_{\text{ref}}$ qui entoure la surface de balayage S_1 .

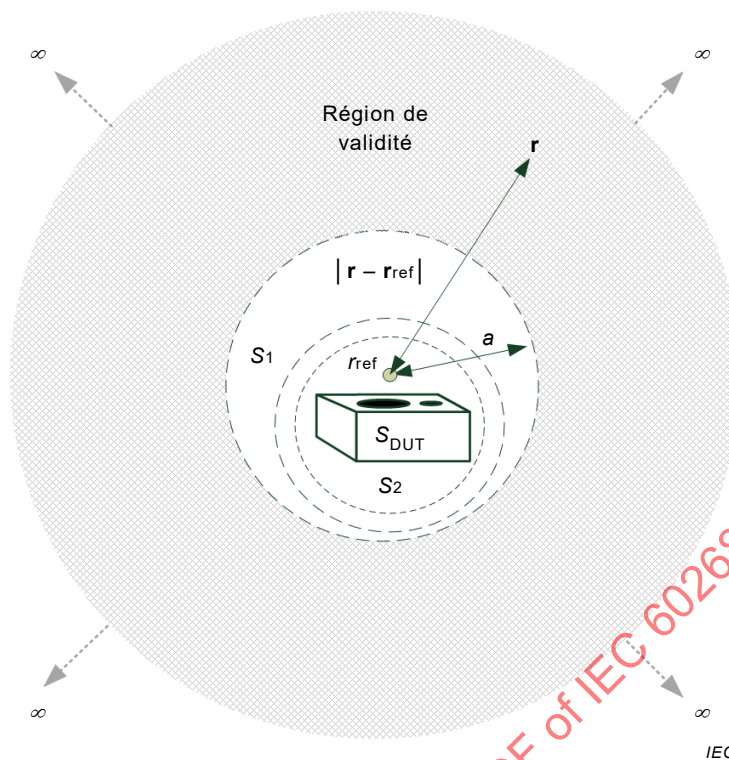


Figure 3 – Région valide de l'expansion de la pression acoustique $p(r)$ au point d'observation r à la distance $r > a$

20.2.4 Données de champ proche extrapolées

20.2.4.1 Conditions à spécifier

La fonction de transfert directionnelle $\underline{H}(f, r)$ entre le signal d'entrée $u(t)$ et la pression acoustique de sortie $p(t, r)$ à un point d'évaluation r à une distance $r = |r - r_{\text{ref}}|$ du point de référence r_{ref} qui est supérieure au rayon de validité a peut être calculée en se basant sur les paramètres de l'expansion du champ acoustique holographique.

20.2.4.2 Méthodes de mesure

- Les paramètres de l'expansion du champ acoustique holographique doivent être déterminés en utilisant la pression acoustique balayée dans le champ proche du DUT conformément à 19.1. Les coefficients $C(f)$, l'ordre $N(f)$ de l'expansion et le rayon de validité a doivent être indiqués.

La pression acoustique doit être balayée dans le champ proche du DUT afin de générer une valeur minimale du rayon de validité a et extrapoler la pression acoustique en tout point r dans le champ proche ou lointain du DUT avec une distance $r > a$.

- La fonction de transfert directionnelle $\underline{H}(f, r) = C(f)B(f, r)$ doit être calculée à un point d'évaluation r à une distance $r = |r - r_{\text{ref}}| > a$ basée sur des coefficients donnés $C(f)$ et des solutions de base définies $B(f, r)$ de l'équation de l'onde.

20.3 Caractéristiques directionnelles du champ lointain

20.3.1 Facteur directionnel

20.3.1.1 Conditions à spécifier

Le facteur directionnel

$$\Gamma(f, \theta, \phi) = \frac{P(f, r, \theta, \phi)}{P(f, r, \theta_r, \phi_r)} = \frac{H(f, r, \theta, \phi)}{H(f, r, \theta_r, \phi_r)}$$

est le rapport entre la valeur de la pression acoustique complexe $P(f, r, \theta, \phi)$ à tout angle azimutal ϕ et angle polaire θ et la valeur de la pression acoustique $P(f, r, \theta_r, \phi_r)$ définie par des angles de référence ϕ_r et θ_r mesuré dans le champ lointain du DUT. Ce rapport s'applique également aux fonctions de transfert $H(f, r, \theta, \phi)$ et $H(f, r, \theta_r, \phi_r)$. Sauf définition différente par le fabricant, les angles de référence $\phi_r = 0$ et $\theta_r = 0$ correspondent au vecteur normal $\mathbf{n}_{\text{ref}}$ et au vecteur d'orientation $\mathbf{o}_{\text{ref}}$ conformément à l'Article 10.

NOTE Il n'est pas recommandé de dériver les angles de référence $\phi_r = \phi_{\text{max}}(f)$ et $\theta_r = \theta_{\text{max}}(f)$ de la direction de rayonnement principale définie par

$$|\underline{H}(f, r, \theta_{\text{max}}, \phi_{\text{max}})| = \max_{\phi, \theta} (|\underline{H}(f, r, \theta, \phi)|)$$

Dans ce cas, le module du facteur directionnel $|\Gamma(f, r, \theta, \phi)| \leq 1$ resterait inférieur à un, mais les angles de référence $\phi_r(f)$ et $\theta_r(f)$ varieraient généralement avec la fréquence f [21].

20.3.1.2 Méthodes de mesure

- a) Les mesures sont réalisées en choisissant l'un des modes opératoires décrits ci-dessous:
 - 1) Selon 20.2.1, les fonctions de transfert directionnelles $\underline{H}(f, \mathbf{r}_i)$ entre la tension d'entrée et la pression acoustique de sortie sont mesurées en de multiples points $\mathbf{r}_i$ avec $i = 1, \dots, M$ dans le champ lointain de la source à une distance fixe r avec une résolution angulaire définie.
 - 2) Les coefficients $C(f)$ de l'expansion de l'onde sont déterminés conformément à 20.2.3. L'expansion de l'onde est utilisée pour extrapoler la propagation du son et pour déterminer la pression acoustique $P(f, r, \theta, \phi)$ ou les fonctions de transfert $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ à la distance r dans le champ lointain.
- b) Le facteur directionnel est déterminé à partir de la fonction de transfert $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ mesurée à une distance r sur une surface sphérique dans le champ lointain, ou alors il est déterminé en utilisant les coefficients de l'expansion de l'onde déterminée comme cela est représenté dans l'Annexe E.
- c) Un ou plusieurs des affichages du diagramme de directivité suivants doivent être choisis:
 - 1) Une famille de courbes de réponse polaires bidimensionnelles dans les plans vertical et horizontal à un minimum des fréquences préférentielles de 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz et 8 000 Hz.
 - 2) Des surfaces de réponse polaire tridimensionnelles (tracés en bulle) à un minimum des fréquences préférentielles de 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz et 8 000 Hz. L'intervalle d'angle azimutal minimal doit être de 10°.
 - 3) Une famille de courbes de réponse en fréquence du niveau de pression acoustique ou de la phase à différents angles par rapport à l'axe de référence; L'intervalle d'angle azimutal minimal doit être de 15°.
 - 4) Des cartes directionnelles représentant les isocontours du niveau de pression acoustique ou de la phase par rapport à l'angle vertical/horizontal et à la fréquence.
 - 5) Une représentation tridimensionnelle du niveau de pression acoustique ou de la phase à une fréquence indiquée.

Des précautions particulières doivent être prises pour garantir l'exploration adéquate des lobes et zéros significatifs. Dans certains cas, cela peut exiger un intervalle d'angle azimutal inférieur ou égal à 2° [22]. L'orientation de l'axe de mesure par rapport à l'axe de référence

doit être indiquée lors de la présentation des résultats. Si la méthode employée est de type point par point, le graphique doit clairement montrer les angles utilisés.

Pour les haut-parleurs de très petite taille comme les haut-parleurs d'aigus, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des fréquences plus élevées non mentionnées ci-dessus. Ces fréquences doivent être conformes à celles indiquées dans l'Annexe C.

Des précautions doivent être prises pour que le niveau dans la direction des angles de référence corresponde au niveau zéro du diagramme polaire.

20.3.2 Gain directionnel

Exprimé en décibels, le gain directionnel

$$D(f, \theta, \phi) = 20 \log |\Gamma(f, \theta, \phi)|$$

doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre le facteur directionnel $\Gamma(f, \theta, \phi)$ mesuré conformément à 20.3.1.

20.3.3 Facteur de directivité

20.3.3.1 Conditions à spécifier

Le facteur de directivité est défini sous la forme

$$Q(f) = \frac{4\pi}{\int_{\Omega} |\Gamma(f, \theta, \phi)|^2 d\Omega}$$

avec $d\Omega = \sin(\theta)d\phi d\theta$ en prenant l'intégrale du carré du facteur directionnel sur la sphère unitaire.

20.3.3.2 Méthodes de mesure

- Le facteur directionnel $\Gamma(f, \theta, \phi)$ est mesuré conformément à 20.3.1 avec une résolution angulaire définie. En variante, les coefficients $C(f)$ de l'expansion de l'onde peuvent être déterminés en balayant le champ de pression acoustique sur une surface de balayage S_k conformément à 20.2.3.
- Le facteur de directivité peut être calculé en se basant sur le facteur directionnel $\Gamma(f, \theta, \phi)$ ou les coefficients $C(f)$ de l'expansion de l'onde conformément à E.3.
- Pour le cas particulier de la symétrie axiale où, pour toute valeur particulière de θ , le facteur directionnel $\Gamma(f, \theta, \phi)$ produit par la source sonore est indépendant de la valeur de ϕ , le facteur de directivité peut être calculé par

$$Q(f) = \frac{360^\circ}{\pi \sum_{n=1}^{180^\circ/\Delta\theta} |\Gamma(f, \theta_n)|^2 \sin \theta_n \Delta\theta}$$

où $\Delta\theta$ désigne la séparation, en degrés, entre les points successifs autour de la source sonore, $180^\circ/\Delta\theta$ est le nombre de mesures qui ont été effectuées en passant d'un point qui se trouve directement devant la source à un point qui se trouve directement derrière la source (voir [17], p. 165).

20.3.4 Indice de directivité

20.3.4.1 Conditions à spécifier

Exprimé en décibels, l'indice de directivité

$$DI(f) = 10 \log_{10} Q(f)$$

doit être spécifié comme égal à dix fois le logarithme du rapport entre le facteur de directivité $Q(f)$ mesuré conformément à 20.3.3.

20.3.4.2 Méthodes de mesure

L'indice de directivité $DI(f)$ peut être déterminé par l'une des méthodes suivantes:

a) Calcul basé sur les caractéristiques directionnelles du champ lointain:

Le facteur directionnel $\Gamma(f, \theta, \phi)$ doit être mesuré conformément à 20.3.1 à une résolution angulaire suffisante. L'indice de directivité $DI(f)$ est calculé en se basant sur le facteur de directivité $Q(f)$ mesuré conformément à 20.3.3.

b) Calcul basé sur les coefficients $C(f)$ de l'expansion de l'onde:

Les coefficients $C(f)$ de l'expansion de l'onde sont déterminés conformément à 20.2.3 et l'indice du facteur de directivité $DI(f)$ est calculé en se basant sur la directivité $Q(f)$ mesurée conformément à 20.3.3.

c) Mesures dans des conditions de champ libre et diffuses:

- 1) Conformément à 19.2, la réponse du niveau de pression acoustique $SPL_{ax}(f)$ doit être mesurée dans des conditions de champ libre sur l'axe de référence à une distance de 1 m en utilisant un stimulus à large bande atténué (facteur d'atténuation $\alpha = 0,1$).
- 2) Le niveau de pression acoustique $SPL_{dif}(f)$ doit être mesuré dans des conditions de champ diffus en utilisant le même stimulus à large bande atténué.
- 3) L'indice de directivité $DI(f)$, exprimé en dB, est alors déterminé à partir de la formule:

$$DI(f) = SPL_{ax}(f) - SPL_{dif}(f) + 10 \lg(T(f)) - 10 \lg(V(f)) + 25$$

où

$SPL_{ax}(f)$ désigne le niveau de pression acoustique en dB dans des conditions de champ libre, mesuré sur l'axe de référence et rapporté à une distance de 1 m,

$SPL_{dif}(f)$ désigne le niveau de pression acoustique en dB, mesuré dans des conditions de champ diffus,

$T(f)$ désigne la durée de réverbération de la salle réverbérante en secondes (s),

$V(f)$ est le volume de la salle réverbérante en mètres cube (m^3).

20.4 Puissance de sortie acoustique

20.4.1 Conditions à spécifier

La puissance acoustique totale rayonnée par un DUT doit être spécifiée à une bande de fréquences donnée ayant une fréquence centrale f et un signal d'entrée défini $u(t)$ qui génère une valeur efficace $\tilde{u}(f)$ dans cette bande de fréquences.

20.4.2 Méthodes de mesure

La puissance de sortie acoustique est déterminée par l'une des méthodes suivantes:

a) Intégration de la pression acoustique du champ lointain sur une sphère:

La puissance de sortie acoustique peut être calculée en intégrant la pression acoustique sur la sphère ou à l'aide de l'équation suivante

$$\Pi(f) = \frac{r^2}{\rho c} \int_{\Omega} \tilde{p}^2(f, r, \theta, \phi) d\Omega$$

de la pression acoustique efficace $\tilde{p}(f, r)$ sur une sphère dans le champ lointain. La puissance acoustique dans des conditions de plein espace en champ libre peut être déterminée par la formule:

$$\Pi(f) = \frac{4\pi r^2}{\rho c} \overline{\tilde{p}^2(f)} = 0,031 r^2 \overline{\tilde{p}^2(f)}$$

où

$\Pi(f)$ désigne la puissance acoustique en W,

r désigne le rayon de la sphère en m,

$\overline{\tilde{p}^2(f)}$ désigne le carré de la pression acoustique intégré sur une grande sphère en Pa au carré,

ρ et c désignent la densité et la vitesse du son de l'air dans des conditions normalisées.

La puissance acoustique dans des conditions de champ libre en demi-espace doit être déterminée par la formule:

$$\Pi(f) = \frac{2\pi r^2}{\rho c} \overline{\tilde{p}^2(f)} = 0,016 r^2 \overline{\tilde{p}^2(f)}$$

Le carré de la pression acoustique efficace doit être intégré sur une grande sphère dans le cas des conditions de champ libre en demi-espace et sur un grand hémisphère dans le cas des conditions de champ libre en demi-espace, conformément à l'ISO 3744 et à l'ISO 3745. Dans les deux cas, un grand nombre de points est exigé, lesquels sont distribués de manière homogène autour du système mesuré.

Si le système présente une symétrie de révolution axiale, les mesures dans un plan contenant cet axe, peuvent être considérées suffisantes sous réserve que les mesures soient pondérées de manière appropriée dans le processus d'intégration.

En variante, la puissance de sortie acoustique peut être calculée en intégrant la fonction de transfert sur la sphère ou à l'aide de l'équation suivante

$$\Pi(f) = \tilde{u}^2(f) \frac{r^2}{\rho c} \int_{\Omega} |\underline{H}(f, r, \theta, \phi)|^2 d\Omega$$

en utilisant la valeur efficace $\tilde{u}(f)$ avec une bande de fréquences donnée et une fréquence centrale f .

b) Calcul basé sur les caractéristiques du champ lointain:

La puissance de sortie acoustique peut être calculée par l'équation suivante

$$\Pi(f) = \frac{\tilde{p}^2(f, r, \theta_r, \phi_r)}{\rho c} \int_{\Omega} |\underline{H}(f, \theta, \phi)|^2 d\Omega = \frac{\tilde{p}^2(f, r, \theta_r, \phi_r) 4\pi r^2}{Q(f) \rho c}$$

en utilisant la valeur de la pression acoustique efficace $\tilde{p}(f, r, \theta_r, \phi_r)$ à la distance r sur l'axe de référence défini par les angles de référence ϕ_r , θ_r et le facteur directionnel $\Gamma(\theta, \phi)$ ou le facteur de directivité $Q(f)$, respectivement mesurés conformément à 20.3.1 ou à 20.3.3.

c) Calcul basé sur les coefficients de l'expansion de l'onde:

La puissance de sortie acoustique est calculée en utilisant les coefficients $C(f)$ conformément à E.4.

d) Mesure de la puissance acoustique dans des conditions de champ diffus conformément à l'ISO 3741:

La puissance acoustique du haut-parleur $\Pi(f)$ est donnée approximativement par la relation:

$$\Pi(f) = \frac{V}{T_{60}(f)} \tilde{p}(f)^2 10^{-4}$$

où

$\Pi(f)$ désigne la puissance acoustique en W,

V désigne le volume de la salle réverbérante en m³,

$T_{60}(f)$ désigne la durée de réverbération en secondes de la pièce dans la bande de fréquences examinée,

$\tilde{p}(f)$ désigne la pression acoustique en Pa.

Le filtrage peut être effectué soit dans la chaîne du haut-parleur, soit à la fois dans les chaînes du haut-parleur et du microphone.

20.5 Niveau de puissance acoustique

Exprimé en décibels, le niveau de puissance acoustique

$$L_{\Pi}(f) = 10 \log_{10} \left(\frac{\Pi(f)}{\Pi_0} \right)$$

doit être spécifié comme égal à dix fois le logarithme du rapport entre la puissance de sortie acoustique $\Pi(f)$ mesurée conformément à 20.4 et la puissance de référence $\Pi_0 = 10^{-12}$ W.

20.6 Puissance de sortie acoustique moyenne dans une bande de fréquences

20.6.1 Conditions à spécifier

La moyenne arithmétique de la puissance de sortie acoustique dans toutes les bandes de fréquences d'1/3 d'octave situées à l'intérieur de la bande de fréquences examinée.

20.6.2 Méthode de mesure

a) La mesure doit être effectuée conformément à 20.4.2.

b) La puissance de sortie acoustique arithmétique doit être calculée sous la forme de la moyenne arithmétique des puissances de sortie acoustiques mesurées individuellement pour chacune des bandes de fréquences d'1/3 d'octave contenues à l'intérieur de la plage de fréquences examinée.

20.7 Angle de rayonnement

20.7.1 Conditions à spécifier

L'angle, mesuré par rapport à l'axe de référence (dans un plan qui contient cet axe), auquel le niveau de pression acoustique à la distance de mesure, avec un angle hors axe, a été pour la première fois inférieur de 10 dB au niveau de pression acoustique sur l'axe de référence. La plage de fréquences sur laquelle cette spécification est satisfaite doit en outre être indiquée.

NOTE Cette définition est moins pratique aux fréquences élevées où les nombreux lobes étroits exigent une grande résolution angulaire.

20.7.2 Méthode de mesure

- L'angle de rayonnement doit être déduit du diagramme de faisceau mesuré conformément à 20.3.2 dans la plage de fréquences assignée.
- L'angle de rayonnement peut être tracé sous la forme d'un graphique ayant la fréquence en abscisse et les angles en ordonnée, symétrique par rapport à 0°.

NOTE Un axe d'ordonnée (vertical) logarithmique est une présentation utile, car les asymptotes de l'angle de rayonnement aux basses fréquences apparaissent plus clairement.

- Si le diagramme de directivité du haut-parleur ne présente pas une symétrie cylindrique, la valeur doit être indiquée dans deux plans perpendiculaires.

20.8 Angle ou angles de couverture

20.8.1 Conditions à spécifier

L'angle, mesuré dans un plan contenant l'axe de référence, entre les deux directions des deux côtés du lobe principal du gain directionnel, conformément à 20.3.2 et centré sur une fréquence spécifique, auquel le niveau de pression acoustique est inférieur de 6 dB à celui dans la direction de l'axe de référence.

Pour les haut-parleurs qui sont conçus pour avoir des angles de couverture différents dans des plans différents au travers de l'axe de référence, les angles de couverture doivent être spécifiés dans au moins deux plans orthogonaux.

20.8.2 Méthode de mesure

- Si la plage de fréquences effective du haut-parleur contient à la fois 2 800 Hz et 5 700 Hz (1/2 octave au-dessus et au-dessous de 4 000 Hz), le ou les angles de couverture doivent être déduits du ou des diagrammes de directivité mesurés avec une bande d'octave centrée sur 4 000 Hz.

Si la plage de fréquences effective ne contient pas la bande d'octave centrée sur 4 000 Hz, le ou les angles de couverture doivent être déduits de mesures réalisées dans une bande d'octave ayant la fréquence centrale spécifiée à proximité de la limite supérieure de la plage de fréquences effective.

De plus, le ou les angles de couverture peuvent être spécifiés pour d'autres fréquences centrales ou bandes d'octave.

La ou les fréquences centrales de la bande d'octave utilisées pour les mesures doivent être présentées avec les données mesurées.

- Les valeurs doivent être présentées dans un tableau ou sous forme de diagramme.

20.9 Niveau de pression acoustique moyen dans une zone acoustique

20.9.1 Généralités

Le niveau de pression acoustique moyen doit être calculé en se basant sur la valeur moyenne du carré de la pression acoustique $p(t, \mathbf{r}_n)$ en de multiples points de mesure $\mathbf{r}_n$ avec $n = 1, \dots, N$ représentant une zone acoustique dans le champ acoustique direct généré par

l'appareil soumis à essai. Le fabricant doit indiquer les coordonnées de la zone acoustique, le nombre de points et une fonction de pondération $w(f, \mathbf{r}_n)$, le cas échéant.

20.9.2 Méthode de mesure

- a) Définir une grille de points $\mathbf{r}_n$ avec $n = 1, \dots, N$ dans la zone acoustique indiquée pour échantillonner le champ acoustique avec une résolution suffisante.

Pour l'évaluation des propriétés du champ lointain, il est recommandé de définir la zone acoustique sous la forme d'un segment ou d'une ligne sur une sphère de rayon r (par exemple $r = 2$ m tel que défini pour les haut-parleurs à usage résidentiel pour le document CTA 2034-A). Pour l'évaluation d'autres applications, il est recommandé de définir la zone acoustique sous forme de cuboïde comme défini dans l'IEC 62777.

- b) Mesurer la fonction de transfert directionnelle $\underline{H}(f, \mathbf{r}_n)$ entre le signal d'entrée $\tilde{u}(t)$ et la pression acoustique $p(t, \mathbf{r}_n)$ aux points $\mathbf{r}_n$ avec $n = 1, \dots, N$ conformément à 20.2.1.
- c) Calculer le niveau de pression acoustique moyen pondéré dans une zone acoustique sous la forme

$$L_{\text{zone}}(f) = \frac{1}{\sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n)} \sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n) L(f, \mathbf{r}_n)$$

$$= \frac{1}{\sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n)} \sum_{n=1}^N w(f, \mathbf{r}_n) 20 \log \left(\frac{\tilde{u}(f)}{p_0} |\underline{H}(f, \mathbf{r}_n)| \right)$$

en utilisant la fonction de pondération $w(f, \mathbf{r}_n)$ définie pour l'application particulière, la valeur efficace du signal d'entrée et la pression acoustique de référence $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

21 Distorsion harmonique

21.1 Généralités

Une explication générale de la distorsion harmonique est présentée dans l'IEC 60268-2 et des informations supplémentaires se trouvent dans l'Annexe F.

21.2 Composante harmonique du $n^{\text{ème}}$ ordre

21.2.1 Conditions à spécifier

La composante harmonique du $n^{\text{ème}}$ ordre en termes de pression acoustique totale $\tilde{p}$ est mesurée dans des conditions de mesure normales en excitant le DUT avec un stimulus sinusoïdal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ de fréquence f . Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

21.2.2 Méthode de mesure

- a) Une série de stimuli d'entrée sinusoïdaux, dont les fréquences croissent jusqu'à 10 kHz, doivent être délivrés au haut-parleur. Les valeurs efficaces choisies $\tilde{u}$ du signal d'entrée $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ doivent être celles qui sont les plus pertinentes pour l'utilisation prévue, mais ne doivent pas dépasser la valeur d'entrée maximale $\tilde{u}_{\text{max}}$.

Un stimulus recommandé est une modulation de fréquence pulsée sinusoïdale, car des informations importantes peuvent être manquantes avec la méthode par paliers qui emploie des sons en régime permanent. Un signal en rafale de Hanning tel qu'il est défini

en 8.8 peut être utilisé comme signal d'excitation court distribuant la puissance spectrale sur un tiers d'une octave. Cette technique de mesure, développée par Keele [5], doit être mise en œuvre conformément aux documents CTA 2034-A et CTA 2010-B.

- b) Le signal de pression acoustique $p(t)$ est mesuré au point de mesure r dans des conditions de mesure normales conformément à 7.3. Sauf spécification contraire, le point de mesure r est le point d'évaluation r_e .
 - c) La valeur efficace de la composante fondamentale $\tilde{p}_f(f)$ et les valeurs efficaces $\tilde{p}_{nf}(f)$ des composantes harmoniques du $n^{\text{ème}}$ ordre doivent, avec $n > 1$, être déterminées en appliquant une analyse spectrale au signal de pression acoustique mesuré $p(t)$.
 - d) Exprimé en décibels, le niveau de pression acoustique $L_f(f)$ de la composante fondamentale doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre la valeur efficace $\tilde{p}_f(f)$ et la pression acoustique de référence normalisée (20 μPa).
 - e) Exprimé en décibels, le niveau de pression acoustique $L_{nH}(f)$ des composantes harmoniques du $n^{\text{ème}}$ ordre doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre la valeur efficace $\tilde{p}_{nf}(f)$ des composantes harmoniques du $n^{\text{ème}}$ ordre ($n > 1$) et la pression acoustique de référence normalisée (20 μPa).
- NOTE Le niveau des composantes de la distorsion harmonique (non référé à la valeur efficace totale) peut être comparé directement au niveau de la composante fondamentale.
- f) Les résultats de la mesure doivent être présentés sous forme graphique en tant que fonction de la fréquence fondamentale. Les informations suivantes doivent être communiquées avec les résultats:
 - la valeur efficace d'entrée ou le facteur de mise à l'échelle α et le niveau de pression acoustique au point de mesure r ;
 - la méthode utilisée, un signal à modulation de fréquence pulsée sinusoïdale ou un signal en régime permanent à variation par palier ou un stimulus à rafale de Hanning;
 - toute fréquence discrète utilisée;
 - la position de mesure du microphone si elle est différente du point d'évaluation r_e et les conditions de la mesure (champ libre ou champ libre en demi-espace);
 - la largeur de bande du lissage spectral s'il est appliqué à la réponse en fréquence.

21.3 Composantes harmoniques totales

21.3.1 Conditions à spécifier

Les composantes harmoniques totales en termes de pression acoustique totale $\tilde{p}$ sont mesurées dans des conditions de mesure normales en excitant le DUT avec un stimulus sinusoïdal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ de fréquence f . Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

21.3.2 Méthode de mesure

- a) La valeur efficace $\tilde{p}_{nf}(f)$ des composantes harmoniques du $n^{\text{ème}}$ ordre dans le signal de pression acoustique mesuré $p(t)$ doit être mesurée conformément à 21.2.2 a) et b).
- b) La valeur efficace de la composante fondamentale et de la composante harmonique totale $\tilde{p}_{TH}(f)$ doit être déterminée par la formule:

$$\tilde{p}_{TH}(f) = \sqrt{\sum_{n=2}^N \tilde{p}_{nf}^2(f)}$$

où l'ordre N de la plus haute harmonique examinée dans le $THD(f)$ doit être indiqué.

- c) Exprimé en décibels, le niveau de pression acoustique $L_{TH}(f)$ des composantes harmoniques totales doit être spécifié comme égal à vingt fois le logarithme du rapport entre la valeur efficace $\tilde{p}_{TH}(f)$ des composantes harmoniques totales et la pression acoustique de référence normalisée (20 μPa).

NOTE Le niveau des composantes harmoniques totales $L_{TH}(f)$ peut être comparé directement au niveau $L_f(f)$ de la composante fondamentale et aux niveaux des composantes harmoniques individuelles du $n^{\text{ème}}$ ordre $L_{nH}(f)$.

21.4 Distorsion harmonique totale

21.4.1 Conditions à spécifier

La distorsion harmonique totale en termes de pression acoustique totale $\tilde{p}$ dans des conditions de mesure normales en excitant le DUT avec un stimulus sinusoïdal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ de fréquence f . Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

21.4.2 Méthode de mesure

- a) La valeur efficace $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ des composantes harmoniques du $n^{\text{ème}}$ ordre dans le signal de pression acoustique mesuré $p(t)$ doit être mesurée conformément à 21.2.2.
- b) La valeur efficace $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ d'un signal de référence doit être déterminée. Sauf spécification contraire, la valeur efficace $\tilde{p}(f)$ du signal de pression acoustique total, y compris la fondamentale, toutes les harmoniques et le bruit, doit être utilisée comme valeur de référence $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$.

La distorsion harmonique totale peut être déterminée par la formule:
en pourcentage:

$$THD(f) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N \tilde{p}_{nf}^2(f)}}{\tilde{p}_{\text{ref}}(f)} 100\%$$

en décibels:

$$L_{THD}(f) = 20 \lg \left(\frac{THD}{100\%} \right)$$

où l'ordre N de la plus haute harmonique examinée dans le $THD(f)$ doit être indiqué.

- c) S'ils sont exprimés en pourcentage, les résultats de la mesure doivent être présentés sous forme graphique en tant que fonction de la fréquence fondamentale sur une abscisse logarithmique (axe y). Les informations suivantes doivent être communiquées avec les résultats:
- la valeur efficace d'entrée ou le facteur de mise à l'échelle α et le niveau de pression acoustique au point de mesure r ;
 - la méthode utilisée, un signal à modulation de fréquence pulsée sinusoïdale ou un signal en régime permanent à variation par palier;
 - toute fréquence discrète utilisée;
 - la position de mesure du microphone si elle est différente du point d'évaluation r_e et les conditions de la mesure (champ libre ou champ libre en demi-espace);
 - la largeur de bande du lissage spectral s'il est appliqué à la réponse en fréquence.

21.5 Distorsion harmonique d'ordre supérieur

21.5.1 Conditions à spécifier

La distorsion harmonique d'ordre supérieur en termes de pression acoustique totale $\tilde{p}$ dans des conditions de mesure normales en excitant le DUT avec un stimulus sinusoïdal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ de fréquence f . Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

NOTE La distorsion harmonique d'ordre supérieur, HOHD⁴, évalue l'énergie des composantes spectrales aux fréquences nf , qui sont des multiples n de la fréquence d'excitation f avec $N_1 \leq n \leq N$. Cette caractéristique révèle les propriétés déterministes non linéaires de l'appareil soumis à essai, comme la limitation physique de la suspension mécanique à une forte excursion. La distorsion harmonique d'ordre supérieur ne peut cependant pas détecter avec fiabilité les particules en suspens et les autres défauts du haut-parleur ayant des propriétés aléatoires (par exemple frottement de la bobine acoustique, bourdonnement, bruit de fuite d'air), qui génèrent une distorsion impulsive comprenant des composantes non harmoniques. La mesure de la distorsion impulsive reposant sur l'analyse du domaine temporel selon l'Article 24 fournit une sensibilité maximale pour les défauts à la fois aléatoires et déterministes, comme décrit dans l'Article F.3.

21.5.2 Méthode de mesure

- La valeur efficace $\tilde{p}_{nf}(f)$ des composantes harmoniques du $n^{\text{ème}}$ ordre dans le signal de pression acoustique mesuré $p(t)$ doit être mesurée conformément à 21.2.2.
- La valeur efficace $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$ d'un signal de référence doit être déterminée. Sauf spécification contraire, la valeur efficace $\tilde{p}(f)$ du signal de pression acoustique total, y compris la fondamentale, toutes les harmoniques et le bruit, doit être utilisée comme valeur de référence $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$.

NOTE La valeur efficace $\tilde{p}_f(f)$ de la composante fondamentale ou la pression acoustique moyenne $\tilde{p}_m$ dans une plage de fréquences indiquée sont des alternatives utiles à la valeur de référence $\tilde{p}_{\text{ref}}(f)$.

- La distorsion harmonique d'ordre supérieur doit être déterminée par la formule:
en pourcentage:

$$HOHD(f) = \frac{\sqrt{\sum_{n=N_1}^N \tilde{p}_{nf}^2(f)}}{\tilde{p}_{\text{ref}}(f)} 100\%$$

en décibels:

$$L_{HOHD}(f) = 20 \lg \left(\frac{HOHD(f)}{100\%} \right)$$

où l'ordre d'harmonique le plus bas N_1 et l'ordre le plus élevé N examinés dans la $HOHD(f)$ doivent être indiqués.

- S'ils sont exprimés en pourcentage, les résultats de la mesure doivent être présentés sous forme graphique en tant que fonction de la fréquence fondamentale sur une abscisse logarithmique (axe y). Les informations suivantes doivent être communiquées avec les résultats:
 - la valeur efficace d'entrée ou le facteur de mise à l'échelle α et le niveau de pression acoustique au point de mesure r ;

⁴ HOHD = higher-order harmonic distortion.

- la méthode utilisée, un signal à modulation de fréquence pulsée sinusoïdale ou un signal en régime permanent à variation par palier;
- toute fréquence discrète utilisée;
- la position de mesure du microphone si elle est différente du point d'évaluation r_e et les conditions de la mesure (champ libre ou champ libre en demi-espace);
- la largeur de bande du lissage spectral s'il est appliqué à la réponse en fréquence.

21.6 Niveau de pression acoustique maximal limité par la distorsion harmonique totale

21.6.1 Conditions à spécifier

Le niveau de pression acoustique maximal $SPL_{THD}(f, r)$ au point de mesure r pour un stimulus sinusoïdal à la fréquence f qui génère une valeur définie de THD_{lim} dans la pression acoustique de sortie.

Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.

NOTE Un signal en rafale de Hanning tel qu'il est défini en 8.8 produit une courte excitation de l'appareil soumis à essai tout en distribuant la puissance spectrale sur un tiers d'une octave. L'augmentation de la température de la bobine acoustique peut être nettement réduite en accordant un temps de refroidissement supplémentaire entre les mesures. Cette technique de mesure, développée par Keele [5], est décrite plus en détail dans les documents CTA 2010- B et CTA 2034- A.

21.6.2 Méthode de mesure

- Le DUT doit être alimenté avec une série de signaux d'entrée sinusoïdaux $u(t) = \alpha \tilde{u}_{max} x(t)$ de fréquence croissant et ayant une résolution spectrale suffisante, jusqu'à 10 kHz, et une entrée efficace croissante $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ par paliers de 1 dB en utilisant un facteur de mise à l'échelle $\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$ approprié. Les facteurs de mise à l'échelle minimal et maximal, respectivement α_{min} et α_{max} , dépendant de la valeur THD_{lim} (les valeurs types sont $\alpha_{min} = 0,1$ et $\alpha_{max} = 1$).
- Le signal de pression acoustique $p(t)$ est mesuré au point de mesure r indiqué dans des conditions de mesure normales conformément à 7.3.
- La distorsion harmonique totale $THD(f, \alpha)$ et le niveau de pression acoustique $SPL(f, \alpha)$ sont mesurés en fonction de la fréquence f et du facteur de mise à l'échelle α en se basant sur le signal de pression acoustique $p(t)$ mesuré.
- Le niveau de pression acoustique maximal $SPL_{THD}(f, r)$ à une valeur de seuil THD_{lim} définie est déterminé par interpolation linéaire entre les points de données de mesure dans $THD(f, \alpha)$ et $SPL(f, \alpha)$.

L'interpolation linéaire exige une résolution suffisante de la variation d'amplitude (paliers de 1 dB).

21.7 Composante de distorsion harmonique d'entrée équivalente du $n^{\text{ème}}$ ordre

21.7.1 Conditions à spécifier

La distorsion harmonique d'entrée équivalente du $n^{\text{ème}}$ ordre, $EIHD_n(f)$, dans le signal d'entrée $u(t)$ correspond à la distorsion harmonique mesurée dans la pression acoustique de sortie $p(t, r_i)$ au point de mesure r pendant une excitation du DUT dans des conditions de mesure normales avec un stimulus sinusoïdal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{max} x(t)$ à la fréquence f . Les propriétés du stimulus $u(t)$, le temps de mesure T_s et la valeur efficace $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{max}$ ou le facteur de mise à l'échelle α doivent être indiqués.