IEC 60068-2-6

Edition 7.0 2007-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)

Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)



IEC 60068-2-6:2007

Copyright International Electrotechnical Commission

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.
Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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 corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:
Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,…). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:
Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Copyright International Electrotechnical Commission

IEC 60068-2-6

Edition 7.0 2007-12

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)

Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

X

ICS 19.040

ISBN 2-8318-9490-5

Copyright International Electrotechnical Commission

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6

1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms and definitions 7
4 Requirements for testing 10
4.1 Required characteristics 10
4.1.1 Basic motion 10
4.1.2 Spurious motion 10
4.1.3 Signal tolerance 11
4.1.4 Vibration amplitude tolerances 11
4.1.5 Frequency tolerances 11
4.1.6 Sweep 12
4.2 Control strategy 12
4.2.1 Single/multipoint control 12
4.2.2 Multi-reference control 13
4.3 Mounting 13
5 Severities 13
5.1 Frequency range 14
5.1.1 Lower frequency f_1 Hz 14
5.1.2 Upper frequency f_2 Hz 14
5.2 Vibration amplitude 14
5.3 Duration of endurance 17
5.3.1 Endurance by sweeping 17
5.3.2 Endurance at fixed frequencies 18
6 Preconditioning 18
7 Initial measurements 18
8 Testing 18
8.1 General 18
8.2 Vibration response investigation 19
8.3 Endurance procedures 19
8.3.1 Endurance by sweeping 19
8.3.2 Endurance at fixed frequencies 19
9 Intermediate measurements 20
10 Recovery 20
11 Final measurements 20
12 Information to be given in the relevant specification 20
13 Information to be given in the test report 21

Annex A (informative) Guide to test Fc 23
Annex B (informative) Examples of severities primarily intended for components 36
Annex C (informative) Examples of severities primarily intended for equipment 37

Bibliography 39

Copyright International Electrotechnical Commission

Figure 1 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz) 15
Figure 2 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz) 16
Figure 3 – Nomogram relating vibration displacement amplitude to frequency (only applicable for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz) 17
Figure A.1 – Generalized transmissibility factors for vibration isolators 33

Table A.1 – Number of sweep cycles and associated endurance times per axis 30
Table A.2 – CB response time 31
Table A.3 – CPB response time 32
Table B.1 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency 36
Table C.1 – Endurance by sweeping – Examples with lower cross-over frequency 37
Table C.2 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency 38

Copyright International Electrotechnical Commission

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)

FOREWORD

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

International Standard IEC 60068-2-6 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.

This seventh edition cancels and replaces the sixth edition, published in 1995. It consitutes a technical revision.

The major changes with regard to the previous edition concern:

— The agreed wording from IEC technical committee 104 meeting held in Stockholm:2000 on the testing of soft packages.
— Reference to the latest version of IEC 60068-2-47:Mounting
— Simplification of the layout of the standard by replacing some tables with text.
— Addition of the test report requirements (see Clause 13).

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission

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

FDIS	Report on voting
104/439/FDIS	104/449/RVD

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

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

A list of all the parts in the IEC 60068 series, under the general title *Environmental testing*, can be found on the IEC website.

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

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

Copyright International Electrotechnical Commission

INTRODUCTION

This part of IEC 60068 gives a method of test applicable to components, equipment and other articles which, during transportation or in service, may be subjected to conditions involving vibration of a harmonic pattern, generated primarily by rotating, pulsating or oscillating forces, such as occur in ships, aircraft, land vehicles, rotorcraft and space applications or are caused by machinery and seismic phenomena.

This standard consists basically of subjecting a specimen to sinusoidal vibration over a given frequency range or at discrete frequencies, for a given period of time. A vibration response investigation may be specified which aims at determining critical frequencies of the specimen.

The relevant specification shall indicate whether the specimen shall function during vibration or whether it suffices that it still works after having been submitted to vibration.

It is emphasized that vibration testing always demands a certain degree of engineering judgement, and both the supplier and purchaser should be fully aware of this fact. However, sinusoidal testing is deterministic and, therefore, relatively simple to perform. Thus it is readily applicable to both diagnostic and service life testing.

The main part of this standard deals primarily with the methods of controlling the test at specified points using either analogue or digital techniques, and gives, in detail, the testing procedure. The requirements for the vibration motion, choice of severities including frequency ranges, amplitudes and endurance times are also specified, these severities representing a rationalized series of parameters. The relevant specification writer is expected to choose the testing procedure and values appropriate to the specimen and its use.

Certain terms have been defined to facilitate a proper understanding of the text. These definitions are given in Clause 3.

Annex A gives general guidance for the test and Annexes B and C provide guidance on the selection of severities for components and equipment.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)

1 Scope

This part of IEC 60068 gives a method of test which provides a standard procedure to determine the ability of components, equipment and other articles, hereinafter referred to as specimens, to withstand specified severities of sinusoidal vibration. If an item is to be tested in an unpackaged form, that is without its packaging, it is referred to as a test specimen. However, if the item is packaged then the item itself is referred to as a product and the item and its packaging together are referred to as a test specimen.

The purpose of this test is to determine any mechanical weakness and/or degradation in the specified performance of specimens and to use this information, in conjunction with the relevant specification, to decide upon the acceptability of the specimens. In some cases, the test method may also be used to demonstrate the mechanical robustness of specimens and/or to study their dynamic behaviour. Categorization of components can also be made on the basis of a selection from within the severities quoted in the test.

2 Normative references

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

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-47, *Environmental testing – Part 2-47: Tests – Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests*

IEC 60721-3 (all parts), *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities*

ISO 2041, *Vibration and shock – Vocabulary*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

NOTE 1 The terms used are generally taken from ISO 2041 and IEC 60068-1. However, “sweep cycle” (3.4) and “signal tolerance” (3.5) have specific meanings in this standard.

Definitions in alphabetical order:

Actual motion	3.7
Basic motion	3.6
Centred resonance frequency	3.10
Check point	3.2.1

Copyright International Electrotechnical Commission

Critical frequencies	3.9
Damping	3.8
Fictitious reference point	3.2.3
Fixing point	3.1
g_n	3.12
Measuring points	3.2
Multipoint control	3.3.2
Reference point	3.2.2
Restricted frequency sweeping	3.11
Signal tolerance	3.5
Single point control	3.3.1
Sweep cycle	3.4

NOTE 2 Terms described below are either not identical to, or not defined in ISO 2041 or in IEC 60068-1.

3.1
fixing point
part of the specimen in contact with the fixture or vibration table at a point where the specimen is normally fastened in service

NOTE 1 If a part of the real mounting structure is used as the fixture, the fixing points are those of the mounting structure and not of the specimen.

NOTE 2 Where the specimen consists of a packaged product, fixing point may be interpreted as the surface of the specimen which is in contact with the vibration table.

3.2
measuring points
specific points at which data are gathered conducting the test

NOTE 1 These are of two main types, the definitions of which are given below.

NOTE 2 Measurements may be made at points within the specimen in order to assess its behaviour, but these are not considered as measuring points in the sense of this standard. For further details, see A.2.1.

3.2.1
check point
point located on the fixture, on the vibration table or on the specimen as close as possible to one of its fixing points, and in any case rigidly connected to it

NOTE 1 A number of check points are used as a means of ensuring that the test requirements are satisfied.

NOTE 2 If four or fewer fixing points exist, each is used as a check point. For packaged products, where a fixing point may be interpreted as the packaging surface in contact with the vibration table, one check point may be used, provided that there are no effects due to resonances of the vibration table or the mounting structure in the frequency range specified for the test. If this is the case, multipoint control may be necessary, but see also Note 3. If more than four fixing points exist, four representative fixing points will be defined in the relevant specification to be used as check points.

NOTE 3 In special cases, for example for large or complex specimens, the check points will be prescribed in the relevant specification if not close to the fixing points.

NOTE 4 Where a large number of small specimens are mounted on one fixture, or in the case of a small specimen where there are several fixing points, a single check point (i.e. the reference point) may be selected for the derivation of the control signal. This signal is then related to the fixture rather than to the fixing points of the specimen(s). This is only valid when the lowest resonance frequency of the loaded fixture is well above the upper frequency of the test.

Copyright International Electrotechnical Commission

3.2.2
reference point
point, chosen from the check points, whose signal is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied

3.2.3
fictitious reference point
point, derived from multiple check points, either manually or automatically, the result of which is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied

3.3
control methods

3.3.1
single point control
control method using the signal from the transducer at the reference point in order to maintain this point at the specified vibration level (see 4.1.4.1)

3.3.2
multipoint control
control method achieved by using the signals from each of the transducers at the check points

NOTE The signals are either continuously averaged arithmetically or processed by using comparison techniques, depending upon the relevant specification (see 4.1.4.1)

3.4
sweep cycle
traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 10 Hz to 150 Hz to 10 Hz

NOTE Manufacturers' handbooks for digital sine control systems often refer to a sweep cycle as f_1 to f_2, and not f_1 to f_2 to f_1.

3.5
signal tolerance

signal tolerance T = $\left(\frac{NF}{F} - 1\right) \times 100\ \%$

where

NF is the r.m.s value of the unfiltered signal;

F is the r.m.s value of the filtered signal.

NOTE This parameter applies to whichever signal, i.e. acceleration, velocity or displacement, is being used to control the test (see A.2.2).

3.6
basic motion
motion at the driving frequency of vibration at the reference point (see also 4.1.1)

3.7
actual motion
motion represented by the wideband signal returned from the reference point transducer

3.8
damping
generic term ascribed to the numerous energy dissipation mechanisms in a system

NOTE In practice, damping depends on many parameters, such as the structural system, mode of vibration, strain, applied forces, velocity, materials, joint slippage, etc.

Copyright International Electrotechnical Commission

3.9
critical frequencies
frequencies at which

– malfunctioning and/or deterioration of performance of the specimen are exhibited which are dependent on vibration, and/or
– mechanical resonances and/or other response effects occur, for example, chatter

3.10
centred resonance frequency
frequency automatically centred on the actual resonance frequency derived from the vibration response investigation

3.11
restricted frequency sweeping
sweeping over a restricted frequency range between 0,8 and 1,2 times the critical frequency

3.12
g_n
standard acceleration due to the earth's gravity, which itself varies with altitude and geographical latitude

NOTE For the purposes of this standard, the value of g_n is rounded up to the nearest whole number, that is 10 m/s^2.

4 Requirements for testing

4.1 Required characteristics

The required characteristics apply to the complete vibration system, which includes the power amplifier, vibrator, test fixture, specimen and control system when loaded for testing.

4.1.1 Basic motion

The basic motion shall be a sinusoidal function of time and such that the fixing points of the specimen move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations of 4.1.2 and 4.1.3.

4.1.2 Spurious motion

4.1.2.1 Cross-axis motion

The maximum vibration amplitude at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50 % of the specified amplitude up to 500 Hz or 100 % for frequencies in excess of 500 Hz. The measurements need only cover the specified frequency range. In special cases, e.g. small specimens, the amplitude of the permissible cross axis motion may be limited to 25 %, if required by the relevant specification.

In some cases, for example for large size or high mass specimens or at some frequencies, it may be difficult to achieve the figures quoted above. In such cases, the relevant specification shall state which of the following requirements apply:

a) any cross-axis motion in excess of that stated above shall be noted and stated in the test report; or
b) cross-axis motion which is known to offer no hazard to the specimen need not be monitored.

Copyright International Electrotechnical Commission

4.1.2.2 Rotational motion

In the case of large size or high mass specimens, the occurrence of spurious rotational motion of the vibration table may be important. If so, the relevant specification shall prescribe a tolerable level. The achieved level shall be stated in the test report (see also A.2.4).

4.1.3 Signal tolerance

Acceleration signal tolerance measurements shall be performed if stated in the relevant specification. They shall be carried out at the reference point and shall cover the frequencies up to 5 000 Hz or five times the driving frequency whichever is the lesser. However, this maximum analysing frequency may be extended to the upper test frequency for the sweep, or beyond, if specified in the relevant specification. Unless otherwise stated in the relevant specification, the signal tolerance shall not exceed 5 % (see 3.5).

If stated in the relevant specification, the acceleration amplitude of the control signal at the fundamental driving frequency shall be restored to the specified value by use of a tracking filter (see A.4.4).

In the case of large or complex specimens, where the specified signal tolerance values cannot be satisfied at some parts of the frequency range, and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration amplitude need not be restored, but the signal tolerance shall be stated in the test report (see A.2.2).

NOTE If a tracking filter is not used and the signal tolerance is in excess of 5 %, the reproducibility may be significantly affected by the choice of either a digital or analogue control system (see A.4.5).

The relevant specification may require that the signal tolerance, together with the frequency range affected, is stated in the test report whether or not a tracking filter has been used (see A.2.2).

4.1.4 Vibration amplitude tolerances

The basic motion amplitude in the required axis at the check and reference points shall be equal to the specified value, within the following tolerances. These tolerances include instrumentation errors. The relevant specification may require that the confidence level used in the assessment of measurement uncertainty is stated in the test report.

At low frequencies or with large size or high mass specimens it may be difficult to achieve the required tolerances. In these cases, it is expected that a wider tolerance or the use of an alternative method of assessment shall be prescribed in the relevant specification and stated in the test report.

4.1.4.1 Reference point

Tolerance on the control signal at the reference point shall be ±15 % (see A.2.3).

4.1.4.2 Check points

Tolerance on the control signal at each check point:

±25 % up to 500 Hz;

±50 % above 500 Hz.

(See A.2.3.)

4.1.5 Frequency tolerances

The following frequency tolerances apply.

Copyright International Electrotechnical Commission

4.1.5.1 Endurance by sweeping

±0,05 Hz up to 0,25 Hz;

±20 % from 0,25 Hz to 5 Hz;

±1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;

±2 % above 50 Hz.

4.1.5.2 Endurance at fixed frequency

a) Fixed frequency:

   ±2 %.

b) Almost fixed frequency:

   ±0,05 Hz up to 0,25 Hz;

   ±20 % from 0,25 Hz to 5 Hz;

   ±1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;

   ±2 % above 50 Hz.

4.1.5.3 Measurement of critical frequency

When the critical frequencies (see 8.2) before and after endurance have to be compared, i.e. during vibration response investigations, the following tolerances shall apply:

±0,05 Hz up to 0,5 Hz;

±10 % from 0,5 Hz to 5 Hz;

±0,5 Hz from 5 Hz to 100 Hz;

±0,5 % above 100 Hz.

4.1.6 Sweep

The sweeping shall be continuous and the frequency shall change exponentially with time (see A.4.3). The sweep rate shall be one octave per minute with a tolerance of ±10 %. This may be varied for a vibration response investigation (see 8.2).

NOTE With a digital control system, it is not strictly correct to refer to the sweeping being “continuous”, but the difference is of no practical significance.

4.2 Control strategy

4.2.1 Single/multipoint control

When multipoint control is specified or necessary, the control strategy has to be specified.

The relevant specification shall state whether single point or multipoint control shall be used. If multipoint control is prescribed, the relevant specification shall state whether the average amplitude of the signals at the check points or the amplitude of the signal at a selected point (for example, that with the largest amplitude) shall be controlled to the specified level, see also A.2.3.

If it is not possible to achieve single point control, as required by the relevant specification, then multipoint control shall be used by controlling the average or extreme value of the signals at the check points. In either of these cases of multipoint control, the reference point is a fictitious reference point. The method used shall be stated in the test report.

Use of multipoint control does not assure that the tolerances of each checkpoint are met. In general it reduces the deviation from the nominal values, when compared with single-point control, at the fictitious reference point.

The following strategies are available.

Copyright International Electrotechnical Commission

4.2.1.1 Averaging strategy

In this method, the control amplitude is computed from the signal from each check point. A composite control amplitude is formed by arithmetically averaging the signal amplitudes from the check points. This arithmetically averaged control amplitude is then compared with the specified amplitude.

4.2.1.2 Weighted averaging strategy

The control amplitude a_C is formed by averaging the signal amplitude from the check points a_1 to a_n according to their weighting w_1 to w_n:

$$a_C = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \ldots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \ldots + w_n)$$

This control strategy offers the possibility that different check point signals contribute a different portion to the control.

4.2.1.3 Extremal strategy

In this method, a composite control amplitude is computed from the maximum (MAX) or the minimum (MIN) extreme amplitudes of the signal amplitude measured at each check point. This strategy will produce a control amplitude that represents the envelope of the signal amplitudes from each check point (MAX) or a lower limit of the signal amplitudes from each check point (MIN).

4.2.2 Multi-reference control

If specified by the relevant specification, multiple reference spectra may be defined for different check points or measuring points or different types of controlled variables, for example, for force limited vibration testing.

When multi-reference control is specified, the control strategy shall be prescribed as follows:

Limiting: All control signals shall be beneath their appropriate reference;

Superseding: All control signals shall be above their appropriate reference.

4.3 Mounting

Unless otherwise stated in the relevant specification, the specimens shall be mounted on the test apparatus in accordance with the requirements in IEC 60068-2-47. For specimens normally mounted on vibration isolators, see the note in 8.3.2 as well as A.3.1, A.3.2 and Clause A.5.

5 Severities

A vibration severity is defined by the combination of the three parameters: frequency range, vibration amplitude and duration of endurance (in sweep cycles or time).

Each parameter shall be prescribed by the relevant specification. They may be:

a) chosen from the values in 5.1 to 5.3;

b) chosen from examples in Annex A or Annex C;

c) derived from the known environment;

d) derived from other known sources of relevant data, for example, the IEC 60721-3 series.

To permit some flexibility in situations where the real environment is known, it may be appropriate to specify a shaped acceleration versus frequency curve and, in these cases, the

Copyright International Electrotechnical Commission

relevant specification shall prescribe the shape as a function of frequency. The different levels and their corresponding frequency ranges, i.e. the break points, shall be selected, wherever possible, from the values given in this standard.

Examples of severities for components are given in Annex B, and for equipment in Annex C (see also A.4.1 and A.4.2).

5.1 Frequency range

If test frequency range option a) is adopted, then a lower frequency may be chosen from 5.1.1 and an upper frequency from 5.1.2.

5.1.1 Lower frequency f_1 Hz

0,1; 1; 5; 10; 55; 100

5.1.2 Upper frequency f_2 Hz

10; 20; 35; 55; 100; 150; 200; 300; 500; 1 000; 2 000; 5 000

Examples of ranges for particular applications are given in Tables B.1, C.1 and C.2.

5.2 Vibration amplitude

The amplitude of displacement, velocity or acceleration or combinations of those, shall be stated in the relevant specification.

Below a certain frequency known as the cross-over frequency, all amplitudes are specified as constant displacement, whilst above this frequency, amplitudes are given as constant velocity or constant acceleration. Example values are given in Figures 1 and 2 for the two different cross-over frequencies.

Each value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude so that the amplitude of vibration is the same at the cross-over frequency (see A.4.1).

Where it is not technically appropriate to adopt the cross-over frequencies stated in this subclause, the relevant specification may couple displacement and acceleration amplitudes giving a different value of cross-over frequency. In some circumstances, more than one cross-over frequency may also be specified.

NOTE Nomograms relating vibration amplitude to frequency are given in Figures 1, 2 and 3, but before their use in the low-frequency region, consideration should be given to the guidance in A.4.1.

Up to an upper frequency of 10 Hz, it is normally appropriate to specify a displacement amplitude over the whole frequency range. Therefore, in Figure 3 only displacement amplitudes are specified.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,,,--`-`,,`,,`,`,,---

Copyright International Electrotechnical Commission

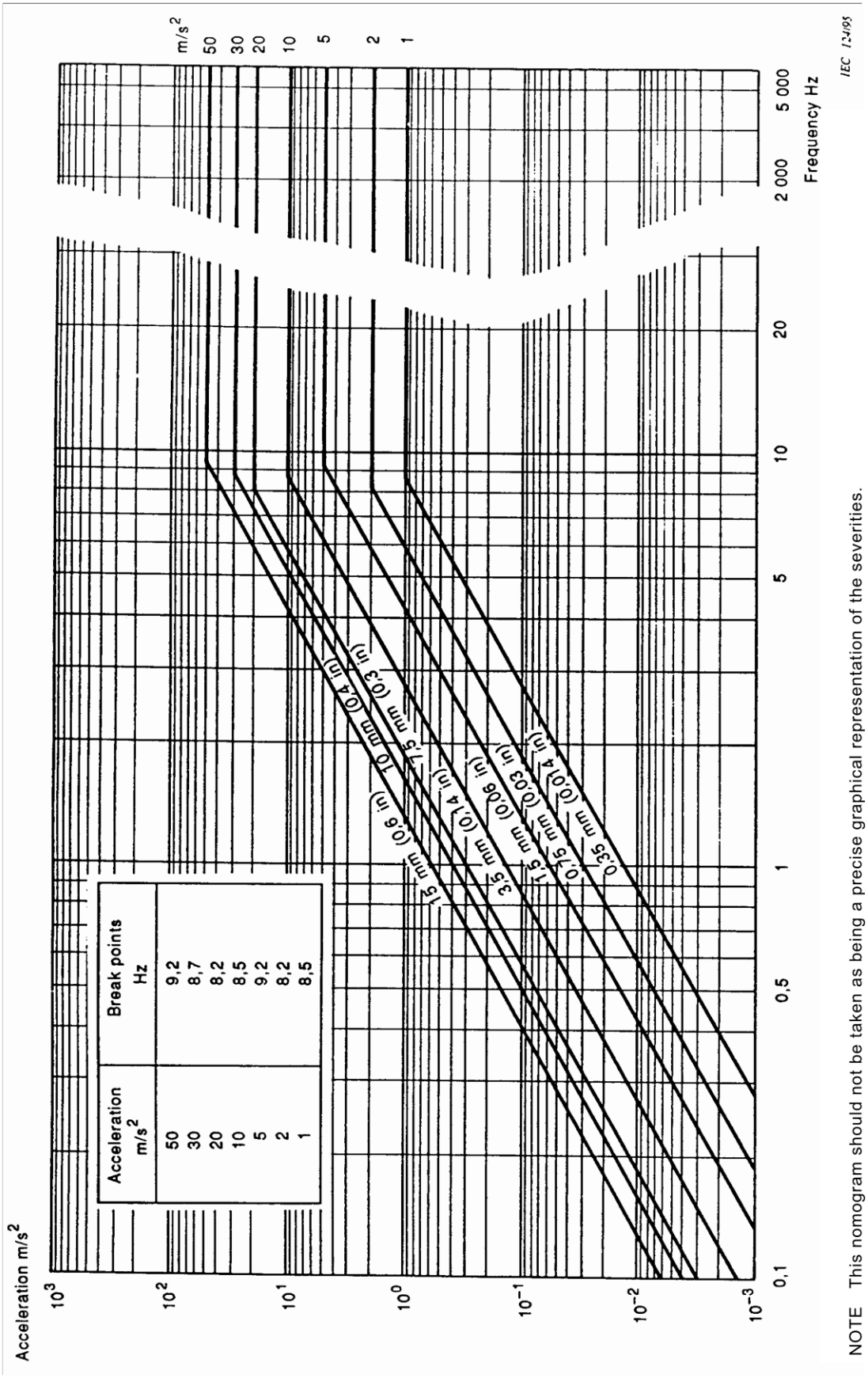
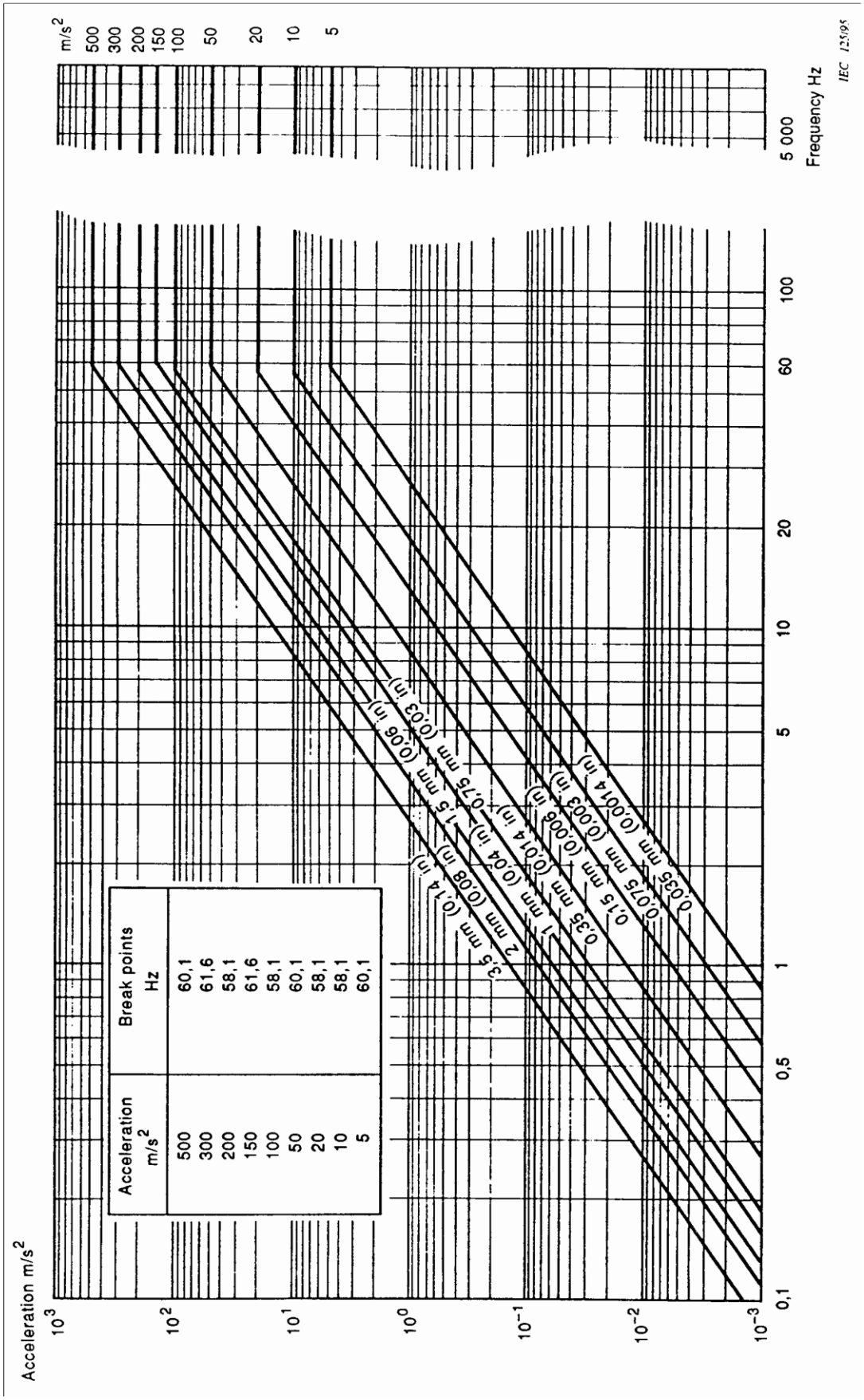


Figure 1 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz)

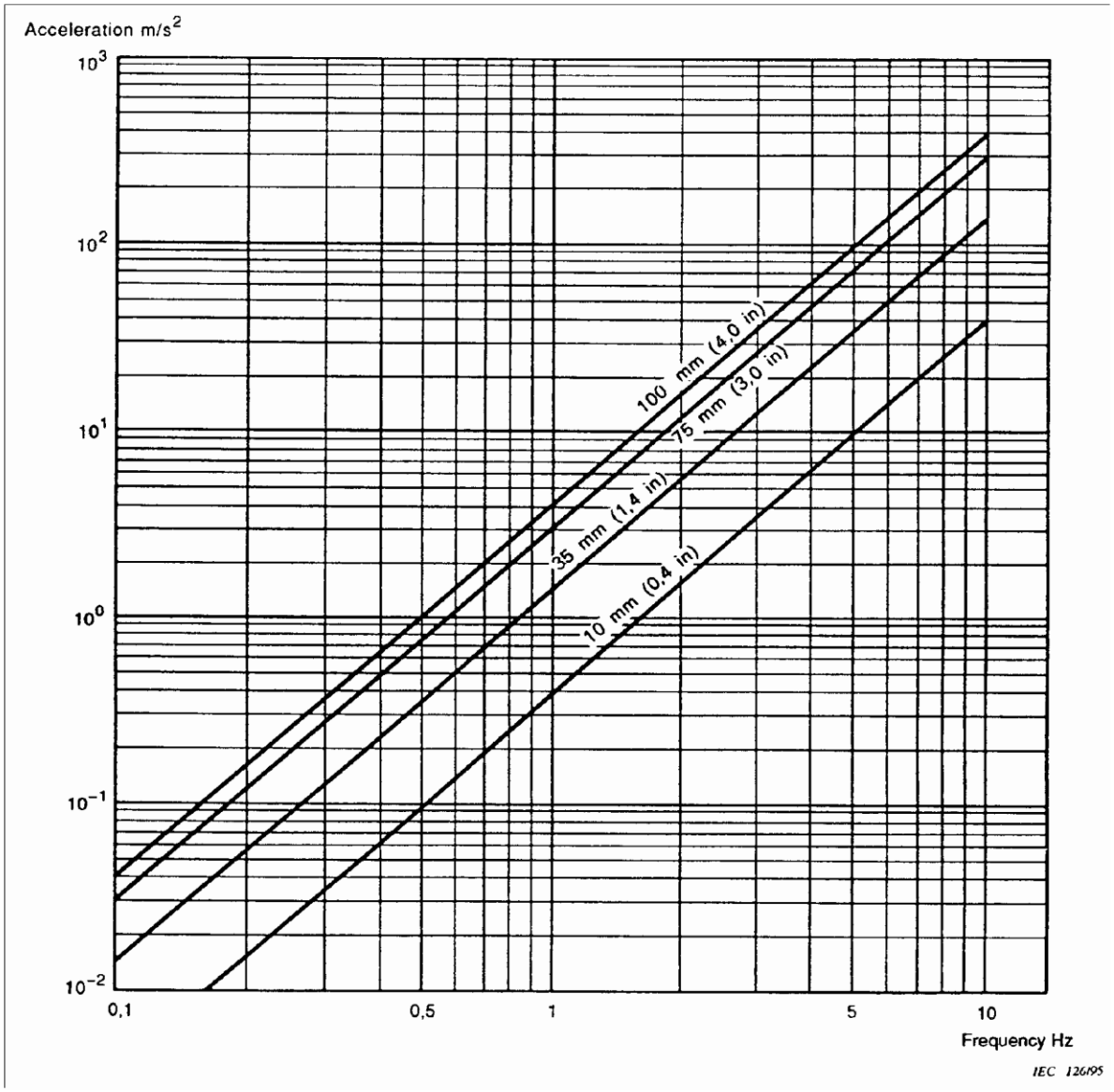
Copyright International Electrotechnical Commission



NOTE This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 2 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz)

Copyright International Electrotechnical Commission



NOTE This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 3 – Nomogram relating vibration displacement amplitude to frequency (only applicable for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz)

5.3 Duration of endurance

The relevant specification shall select the duration(s) from the recommended values given below. If the specified duration leads to an endurance time of 10 h or more per axis or frequency, this time may be split into separate testing periods, provided that stresses in the specimen are not thereby reduced (see Clause A.1 and A.6.2).

5.3.1 Endurance by sweeping

The duration of the endurance in each axis shall be given as a number of sweep cycles (see 3.4) in the relevant specification or may be chosen from the following values:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.

When a higher number of sweep cycles is required, the same series should be applied (see A.4.3).

Copyright International Electrotechnical Commission

5.3.2 Endurance at fixed frequencies

5.3.2.1 Endurance at critical frequencies

The duration of the endurance in each appropriate axis at each frequency found during the vibration response investigation (see 8.2) shall be given in the relevant specification or may be chosen from the values given below with a tolerance of $^{+5}_{0}$ % (see Clause A.1 and A.6.2):

10 min; 30 min; 90 min; 10 h.

For almost fixed frequencies, see Clause A.1.

5.3.2.2 Endurance at predetermined frequencies

The duration stated in the relevant specification shall take into account the total time the specimen is expected to be submitted to such vibration during its operational life. An upper limit of 10^7 stress cycles shall apply for each stated combination of frequency and axis (see Clause A.1 and A.6.2).

6 Preconditioning

The relevant specification may call for preconditioning and shall then prescribe the conditions (see IEC 60068-1).

7 Initial measurements

The specimen shall be submitted to the visual, dimensional and functional checks prescribed by the relevant specification (see Clause A.9).

8 Testing

8.1 General

The relevant specification shall state the number of axes in which the specimen shall be vibrated and their relative positions. If not stated in the relevant specification, the specimen shall be vibrated in three mutually perpendicular axes, in turn, which should be so chosen that faults are most likely to be revealed.

The control signal at the reference point shall be derived from the signals at the check points and shall be used for single point or multipoint control (see A.4.5).

The test procedure to be applied shall be chosen, by the relevant specification, from the stages given below. Guidance is given in Annex A. In general, the test stages shall be performed in sequence in the same axis and then repeated for the other axes (see Clause A.3).

Special action is necessary when a specimen, normally intended for use with vibration isolators, needs to be tested without them (see Clause A.5). Special action is also necessary when a product, normally intended for transportation in packaging, needs to be tested without the packaging (see IEC 60068-2-47).

When called for by the relevant specification, control of the specified vibration amplitude shall be supplemented by a maximum limit of the driving force applied to the vibrating system. The method of force limitation shall be stated in the relevant specification (see Clause A.7).

Copyright International Electrotechnical Commission

8.2 Vibration response investigation

When called for in the relevant specification, the response of the specimen in the defined frequency range shall be investigated in order to study the behaviour of the specimen under vibration. Normally, the vibration response investigation shall be carried out over a sweep cycle under the same conditions as for the endurance (see 8.3), but the vibration amplitude may be diminished and the sweep rate decreased below the specified value if, thereby, more precise determination of the response characteristics can be obtained. Undue dwell time and overstressing of the specimen shall be avoided (see A.3.1). For vibration response investigation of packaged products, for the case where it is not possible to instrument the product within the packaging, then measurement of the force excitation of the specimen may be used to detect the resonant frequencies of the product within the packaging. This is not a trivial procedure to adopt and a suitable balance between making such measurements or not having knowledge of the resonance frequencies of the packaged specimens must be made.

For the vibration response investigations of an ‘undefined type’ specimen or package it may be necessary to measure different signals such as driving force or vibration velocity. If specified by the relevant specification, for example the spectra of the mechanical impedance of the specimen before and after the test may be calculated.

The specimen shall function during this vibration response investigation if required by the relevant specification. Where the mechanical vibration characteristics cannot be assessed because the specimen is functioning, an additional vibration response investigation with the specimen not functioning shall be carried out.

During the vibration response investigation, the specimen and the vibration response data shall be examined in order to determine critical frequencies. These frequencies, applied amplitudes and the behaviour of the specimen shall be stated in the test report (see Clause A.1). The relevant specification shall state what action shall be taken.

When digital control is used, care shall be taken when determining the critical frequencies from the plot of the response curve, due to limitations as a result of the number of data points per sweep chosen, or the discrimination ability of the control system display screen (see A.3.1).

In certain circumstances, the relevant specification may require an additional vibration response investigation on completion of an endurance procedure so that the critical frequencies before and after can then be compared. The relevant specification shall state what action is to be taken if any change of frequency occurs. It is essential that both vibration response investigations are carried out in the same manner and at the same vibration amplitudes (see 4.1.5.3 and A.3.1).

8.3 Endurance procedures

The relevant specification shall prescribe which of the following endurance procedures shall be employed.

8.3.1 Endurance by sweeping

This endurance procedure is preferred.

The frequency shall be swept over the frequency range at the sweep rate, amplitude and duration selected by the relevant specification (see 5.3.1). If necessary, the frequency range may be sub-divided, provided that the stresses in the specimen are not thereby reduced.

8.3.2 Endurance at fixed frequencies

Vibration shall be applied either at:

a) those frequencies derived from the vibration response investigation given in 8.2, using one of the following methods:

Copyright International Electrotechnical Commission

1) fixed frequency,

   – centred resonance frequency.

   The applied frequency shall always be maintained at the actual critical frequency.

2) almost fixed frequency,

   – restricted frequency sweeping.

   If the actual critical frequency is not clearly evident, for example if there is chatter, or where a number of individual specimens are being tested simultaneously, it may be convenient to sweep over a restricted frequency range between 0,8 and 1,2 times the critical frequency in order to be sure of exciting the effect fully. This may also apply where the resonance is non-linear (see Clause A.1).

b) predetermined frequencies stated in the relevant specification.

The test shall be applied at the amplitude and for the duration stated in the relevant specification (see A.3.2).

NOTE In the case of a product mounted either on vibration isolators, or within packaging, the relevant specification states whether or not the resonant frequencies of the product on its isolators, or in the packaging material, should be chosen for this endurance test (see Clause A.5)

9 Intermediate measurements

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning and its performance checked during the test for the specified proportion of the total time (see A.3.2 and Clause A.8).

10 Recovery

It is sometimes necessary, when prescribed by the relevant specification, to provide a period of time after testing and before final measurements to allow the specimen to attain the same conditions, for example of temperature, as existed for the initial measurements. The relevant specification shall prescribe the precise conditions for recovery.

11 Final measurements

The specimen shall be submitted to the visual, dimensional and functional checks prescribed by the relevant specification.

The relevant specification shall provide the criteria upon which the acceptance or rejection of the specimen is to be based (see Clause A.9).

12 Information to be given in the relevant specification

When this test is included in a relevant specification, the following details shall be given in so far as they are applicable, paying particular attention to the items marked with an asterisk (*) as this information is always required.

		Clause and/or subclause
a)	Choice of check points	3.2.3
b)	Choice of control points*	3.3.2
c)	Cross axis motion	4.1.2.1
d)	Rotational motion	4.1.2.2
e)	Signal tolerance	4.1.3

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,,,-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

f)	Vibration amplitude tolerance	4.1.4
g)	Confidence level	4.1.4
h)	Single or multipoint control*	4.1.4.1
i)	Mounting	4.3
j)	Severities, real environment, if known	5
k)	Frequency range*	5.1
l)	Vibration amplitude*	5.2
m)	Special cross-over frequency	5.2
n)	Duration of endurance*	5.3 and 8.3
o)	Preconditioning	6
p)	Initial measurements*	7
q)	Axes of vibration*	8
r)	Force limitation	8
s)	Test stages to be performed and sequence*	8, 8.2 and 8.3
t)	Functioning and functional checks*	8.2 and 9
u)	Action to be taken after the vibration response investigation*	8.2
v)	Action to be taken if a change of response frequency is found when a final response investigation is performed*	8.2
w)	Predetermined frequencies	8.3.2
x)	Testing at the resonance frequencies of the specimen on its vibration isolators	8.3.2
y)	Recovery	10
z)	Final measurements*	11
aa)	Acceptance or rejection criteria*	11

13 Information to be given in the test report

As a minimum the test report shall show the following information:

1	Customer	(name and address)
2	Test laboratory	(name and address)
3	Test report identification	(date of issue, unique number)
4	Test dates	
5	Type of test	Sine
6	Purpose of the test	(development test, qualifilcation, etc.)
7	Test standard, edition	(relevant test procedure)
8	Test specimen description	(unique identification, drawing, photo, quantity, etc.)
9	Mounting of test specimen	(fixture identification, drawing, photo, etc.)
10	Description of test apparatus	(cross-motion, etc.)
11	Control and measuring system, sensor location	(description, drawing, photo, etc.)
12	Filters used for all signal(s)	(types and bandwidth)
13	Uncertainties of measuring system	(calibration data, last and next date)
14	Control strategy	(multi-point control, multi-reference or MIN or MAX strategy)
15	Initial, intermediate or final measurements	
16	Required severities	(from test specification)
17	Test severities with documentation	(measuring points, test spectra)

Copyright International Electrotechnical Commission

18	Test results	(comment on status of test specimen)
19	Observations during testing and actions taken	
20	Summary of test	
21	Test manager	(name of signature)
22	Distribution	(list of those receiving report

NOTE 1 A test log should be written for the testing, where the test is documented as, for example, a chronological list of test runs with test parameters, observations during testing and actions taken and data sheets on measurements made. The test log can be attached to the test report.

NOTE 2 See also the requirements listed in 5.10 of ISO/IEC 17025.

Copyright International Electrotechnical Commission

Annex A
(informative)

Guide to test Fc

A.1 Introduction

The test provides a method by which effects comparable with those likely to be experienced in practice can be reproduced in the test laboratory. The basic intention is not necessarily to reproduce the real environment.

The parameters given are standardized and suitable tolerances chosen in order to obtain similar results when a test is run at different locations by different people using either analogue or digital control techniques. The standardization of values also enables components to be grouped into categories corresponding to their ability to withstand certain vibration severities given in this standard.

In vibration testing, the usual approach in previous specifications has been to search for the resonances and then to undertake an endurance test in which a specimen is vibrated at resonance frequencies for a prescribed time. Unfortunately, it is difficult to differentiate, by means of a general definition, between resonances which are liable to cause failure in service and those unlikely to cause trouble, even when the specimen is vibrated for long periods.

In addition, such testing procedures are often unrealistic when applied to the majority of modern specimens. Direct observation is almost impossible in the assessment of vibration characteristics of any enclosed item, or of modern miniaturized assemblies. Vibration transducer techniques often cannot be applied without altering the mass-stiffness distribution of the assembly. In cases where transducers can be used, success depends entirely on the skill and experience of the test engineer in selecting appropriate points in the assembly for measurement.

The procedure preferred here, i.e. endurance by sweeping, minimizes these difficulties and avoids the necessity of defining significant or damaging resonances. The recommendation of this method has been influenced by the need to specify test methods which are as well defined as the present state of environmental testing will allow, and which reduce the dependence upon the skill of the test engineer to a minimum. The endurance by sweeping is given by the number of sweep cycles which are derived from related numbers of stress cycles.

The procedure may, however, in some cases lead to inconveniently long times if the endurance duration is intended to be long enough to ensure a fatigue life comparable to the required service time, or unlimited fatigue life under conditions of vibration comparable with those experienced in service. Therefore, other methods have been given, including endurance at fixed frequencies, which are either predetermined or found during the response investigation. It is expected that fixed frequency endurance is applicable if, during the vibration response investigation, the number of such frequencies in each axis is found to be small and not normally exceeding four. If the number exceeds four, endurance by sweeping may be more appropriate.

In the case of almost fixed frequencies, the duration of endurance should be based on the values stated for critical frequencies. However, to the selected value, a proportion of that time should be added which is dependant upon the range of critical frequencies of the specimens (see 5.3.2.1).

It may be appropriate to carry out endurance testing both by sweeping and at fixed frequencies. It needs to be remembered that endurance at fixed frequencies still requires a certain amount of engineering judgement in application.

Copyright International Electrotechnical Commission

In addition, for any predetermined frequency, the endurance time needs to be given in the relevant specification.

The fixed frequency endurance is given as time in the case of critical frequencies. This time is often based on an anticipated number of stress cycles. Owing to the wide variety of materials it is obvious that no realistic single figure could be given for the number of stress cycles. Nevertheless, it is considered that 10^7 is a sufficiently practicable upper figure to be quoted for general vibration testing and need not be exceeded (see 5.3.2.1 and 5.3.2.2).

In some cases, where there is a high level of background vibration which may be of a random or complex nature, sinusoidal testing may not be adequate. It is, therefore, left to the user to determine if sinusoidal testing alone is suitable for the particular application.

If it is known that the real environment is essentially random vibration, a random vibration test should be used for the endurance phase wherever economically possible. This is particularly applicable in the case of equipment. For some component-type specimens of simple construction a sinusoidal test is usually adequate. The random vibration tests are dealt with in IEC 60068-2-64 for digital control.

A.2 Measurement and control

A.2.1 Measuring points

Two main types of measuring points are defined in Clause 3. However, on occasions it may be necessary to measure local responses within a specimen in order to establish that the vibration at these points is not likely to cause damage. Under certain circumstances such as during the design stage, it may even be necessary to incorporate the signals from such measuring points into the control loop in order to avoid costly degradation of the specimen. It should be noted, however, that this technique is not recommended in this standard as it cannot be standardized (see 3.2).

A.2.2 Errors caused by signal tolerance

Where the signal tolerance is less than 5 % there is no practical difference between actual motion and basic motion.

Where a small size or low mass specimen is used with a large vibration table, there should generally not be a problem with signal tolerance. Indeed, where system signal tolerance measurements are taken when the vibration system is newly installed, the original measurements may be assumed to apply. However, laboratories need to be aware of potential problems with large specimens.

In cases where the signal tolerance is high, the measuring system will indicate a vibration level which is incorrect since it contains the required frequency and many unwanted frequencies. This will result in lower amplitude at the required frequency than is specified. Up to the signal tolerance value specified in 4.1.3, this error can be tolerated; however, above this value it may be necessary to restore the level of the fundamental to its required amplitude. There are a number of ways of doing this, but it is recommended that a tracking filter be used. If the level of the fundamental is restored, the specimen will be subjected to the intended stress at the required frequency.

It may be that, under these conditions, the unwanted frequencies will also increase and as a result some additional stresses will be caused. If this gives rise to unrealistically high stresses, it may be more appropriate to waive the signal tolerance level requirement prescribed in the relevant specification (see 4.1.3).

For a digital system, additional information on the wideband unfiltered control signal can be obtained by passing the signal into a spectrum analyser. An analysis can then be performed

Copyright International Electrotechnical Commission

over the specified frequency range and will show the fundamental, harmonics and other noise content, caused, for example, by chattering and impacting.

NOTE The relationship between distortion D and signal tolerance T is given by:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

where D and T are expressed as percentage values.
(When a signal tolerance T = 5 is inserted in the above equation a distortion D = 32 will result.)

A.2.3 Derivation of control signal

A number of methods are available for derivation of the control signal.

If an averaged multipoint control signal is specified, i.e. one derived from the arithmetic mean, one method is where the averaged signal is obtained by processing the direct voltages proportional to the peak acceleration levels at each check point.

If time-division multiplexing (see term 721-04-11:1991 in IEC 60050(721)) is used to establish a periodic interrogation of each check point, the interrogation frequency should not be greater than the driving frequency so as to ensure that at least one period of each signal is taken into account. For example, if four transducers are used, at 100 Hz the period of interrogation for each check point should not be less than 0,01 s. There may, however, be problems where such a system is used in conjunction with a tracking filter and, in this case, due care needs to be taken.

The sampled data system may cause problems when the test is to be controlled to constant displacement amplitude, since the acceleration signal, which is integrated twice, will not be proportional to the displacement amplitude owing to the signal tolerance caused by the phase difference between the sampled signals (see 3.3.2).

It is important that the complete vibration system has a low residual noise level so that most of the tolerance quoted is available during the test (see 4.1.4.1). Typically, 0,6 m/s^2 is an acceptable noise threshold for the vibration system.

A.2.4 Rotational motion (see 4.1.2.2)

Large size or high mass specimens can react to the sinusoidal excitation with overturning moments, caused either by the eccentricity of the inertial force of the rigid mass with respect to the thrust axis of the vibration table, or by the distribution of the inertial forces of the modal shapes in correspondence with the natural frequencies. These overturning moments can induce rotational motions around axes lying in any plane orthogonal to the basic motion direction and, as a result, some additional stresses will be caused in the specimen. This could give rise to unrealistically high stresses. Thus it may be appropriate to reduce the rotational motions or at least to know their magnitude. The natural frequencies and relevant modal shapes of the specimen are normally not known before the test and general assumptions regarding these parameters are difficult to make.

Some useful approximate criteria can be obtained by considering the mass of the specimen (m), the mass of the moving parts of the vibration table including fixture (m_t), the distance (d) between the centre of gravity of the specimen and the thrust axis of the vibration table and the height (h) of the centre of gravity of the specimen with respect to the horizontal thrust axis of the vibration table.

For theoretically rigid specimens the maximum foreseen overturning moment (M_o) can be calculated as follows in the presence of maximum excitation acceleration A:

– rigid mass with eccentricity: $M_o = m \times d \times A$;

Copyright International Electrotechnical Commission

– rigid mass with high centre of gravity horizontally excited: $M_o = m \times h \times A$.

For specimens with a resonance in the specified frequency range, the same formulae as above are still valid, but m represents the resonant mass and A is the maximum predicted response acceleration. It is important that, in the above cases, consistent units are used.

Both electrodynamic and servo-hydraulic test equipment have maximum overturning moment limitations. In the case of single vibration generator facilities, of either type, there is a maximum allowable overturning moment, normally specified by the equipment manufacturer in order to avoid vibration generator damage.

In the case of multiple vibration generator facilities, there is a maximum ability of the vibration table to counterbalance the overturning moments and to exceed this means to have some rotational motions (pitch or roll) of the vibration table.

The following criteria may be applied.

If the ratio m/m_t is less than 0,2, no check is needed, otherwise the following checks may be appropriate.

For single vibration test equipment (with or without slip tables), and for mechanically guided equipment, the overturning moment is counterbalanced by elastic members or bearings. Thus it is only necessary to measure the rotational motion when the specimen overturning moment is greater than 50 % of the maximum allowable overturning moment of the test equipment.

For multiple vibration generators and for test equipment with many degrees of freedom, the overturning moment is counterbalanced by the vibration generators being regulated by a control system. Thus it is only necessary to measure the rotational motion when the specimen overturning moment is greater than the maximum overturning moment capability of the test equipment.

A.3 Testing procedures

A.3.1 Vibration response investigation (see 8.2)

Vibration response investigations are of use for many purposes, particularly when it is known that the specimen will experience considerable vibration of a periodic nature such as is found in ships, aircraft, and rotating machinery. The response investigation is also of use when it is considered important to investigate the dynamic behaviour of the specimen and where fatigue is to be assessed.

Due consideration should be given to the amplitude used during the vibration response investigation, particularly with respect to the linearity of the dynamic behaviour of the specimen and also because malfunction and chatter may only occur at the test level.

A vibration response investigation applied before and after the endurance test can be used to identify changes in the frequency at which resonance or some other response occurs. A change in frequency may indicate that fatigue, or some other degradation, has occurred and should be evaluated as this frequency change may result in the specimen being unsuitable for its intended operational or transportation environment.

When prescribing the vibration response investigation, the relevant specification should clearly state, where appropriate, the actions to be taken during and following the test, for example:

– any special values of dynamic magnification which, if exceeded, would require endurance by sweeping;
– changes in frequency;

Copyright International Electrotechnical Commission

– levels of response which are unacceptable;
– electrical noise.

It is important that any arrangements made to detect the effect upon internal parts during a vibration response investigation should not substantially change the dynamic behaviour of the specimen as a whole. It should also be remembered that, in the case of a non-linear resonance, a specimen may respond differently depending upon the direction of the frequency variation during the sweep. Critical frequencies should be determined on the upward and downward part of the sweep cycle since the specimen may have structurally settled (stabilized) during the upward portion of the sweep.

The starting point of the sweep may be at f_2 instead of f_1, if it is suspected that either a softening or hardening spring non-linearity is present. Critical frequency determination will be different for the upward and downward parts of the sweep.

When digital control is used, it is important that a sufficiently large number of data points are chosen between f_1 and f_2 in order to adequately describe each resonance peak and, therefore, each critical frequency of the specimen. Insufficient data points may result in inaccurate determination of the critical frequencies, especially in the low frequency range with specimens having a low damping ratio. Normally it is considered that sufficient data has been obtained when there are at least three (five if possible) data points within the –3 dB bandwidth of the associated resonance. However, the response investigation will need to be repeated if insufficient data is obtained but there is a strong indication that a resonance exists. In such instances it may also be necessary to sweep over a restricted frequency range.

Further errors in determining the critical frequencies may result from the choice of method for any graphical representation of the data since some systems may be limited in their ability to accurately display all of the data. It may, therefore, be necessary to expand the graph around each critical frequency to overcome this problem.

When a vibration response investigation is called for in the relevant specification, the availability of any vibration isolators used is of fundamental importance. If vibration isolators are available, a first investigation is often carried out with the vibration isolators removed or blocked in order to determine the critical frequencies of the specimen.

A second investigation may then be performed in which the vibration response investigation is repeated with the vibration isolators mounted and free so that the effect which they have on the specimen can be determined.

At the first investigation, because the vibration isolators are either not present or not active, their transmissibility characteristics need to be determined from Figure A.1 and different vibration amplitudes used in order to take account of these characteristics.

If the isolators are not available, see A.5.1.

A.3.2 Endurance (see 8.3)

Endurance by sweeping is normally the most appropriate method for simulating the effect of the stresses undergone by specimens in use (see 8.3.1).

Endurance at fixed frequencies is appropriate to a limited range of service conditions of specimens whose operational site is influenced by machinery or whose installation is restricted to one or a few types of vehicle or aircraft. In these cases, the dominant frequencies are usually known or can be predicted. It may also be appropriate for the rapid accumulation of stress cycles in order to demonstrate the effects of fatigue, for example arising from excitation during a mobile transportation environment (see 8.3.2).

In some cases it may be important to consider possible fatigue aspects at some discrete frequencies, as well as to establish the general ability of a specimen to withstand vibration.

Copyright International Electrotechnical Commission

Under these circumstances, it would be appropriate to carry out endurance at fixed frequencies followed by endurance by sweeping. This would then provide the information required in the shortest possible time.

In the case of small components, where it is believed that no resonances exist below 55 Hz or 100 Hz, it is sufficient to commence the endurance at these frequencies.

For endurance testing of an equipment normally mounted on vibration isolators, the vibration isolators are usually fitted. If it is not practicable to carry this out with the appropriate vibration isolators, for example if the equipment is installed together with other equipment on a common mounting device, the equipment may be tested without them at a different severity to be stated in the relevant specification. This amplitude should be determined by taking into account the transmissibility of the vibration isolating system in each axis used for the test. When the characteristics of the vibration isolators are not known, refer to A.5.1.

The relevant specification may require an additional test on a specimen with the external vibration isolators removed or blocked in order to demonstrate that minimum acceptable structural resistance has been achieved. In this case, the severity to be applied should be given in the relevant specification.

In the case of a product which would normally be tested in its packaging, in order to reproduce the transportation part of its life, but where the packaging is not available, refer to IEC 60068-2-47.

A.4 Test severities (see Clause 5)

A.4.1 Selection of test severities

The frequencies and amplitudes given have been selected to envelop the frequency responses appropriate to a wide range of applications. When an equipment is for use in one application only, it is preferable to base the severity on the vibration characteristics of the actual environment, if known. When the vibration conditions of the actual environment are not known for an equipment, the appropriate test severity should be selected from Annex C which gives examples of test severities related to various applications.

In determining the test severity, the specification writer should take into account the information given in IEC 60721-3 (see Clause 5).

As the value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude in such a manner that the magnitude of vibration is the same at the cross-over frequency, the frequency range may be swept continuously, changing from constant displacement to constant acceleration and vice versa at the cross-over frequency. Cross-over frequencies between 8 Hz and 10 Hz and between 58 Hz and 62 Hz are given.

Cross-over frequencies other than the standard ones may be required where it is desirable to simulate the actual environment, if known. If this results in a high cross-over frequency, the capability of the vibration generator must be borne in mind. It is important that the displacement amplitude chosen does not correspond to an acceleration amplitude in the low frequency region comparable to the residual noise level of the vibration system. If necessary, the problem could be overcome by either using a tracking filter or, if the test was conducted all at low frequencies, to employ a displacement transducer in the control loop (see 5.2).

A.4.2 Selection of test severities for components

The selection of test severities for components is complicated by the fact that, in many cases, it is not known in which equipment they are to be installed nor the stresses to which they will be subjected. Even where it is known that components are for use in specific items of equipment, it should be borne in mind that the vibration environment to which the component will be subjected may be different from that to which the equipment will be subjected, due to the

Copyright International Electrotechnical Commission

dynamic response of the structure, equipment, sub-assemblies, etc. Caution should, therefore, be observed in selecting component test severities related to equipment severities and some margin may need to be allowed for the effect of these responses.

Where components are mounted in the equipment in a manner designed to protect them from vibration, the equipment test severities, or possibly a lower severity, may be appropriate.

An alternative approach to the selection of component test severities is to test and grade components to stated severities so that equipment designers may select components appropriate to their application.

Reference should be made to Annex B which gives examples of severities related to various applications.

A.4.3 Sweep

During sweeping, the frequency is required to change exponentially with time so that:

$$\frac{f}{f_1} = \mathrm{e}^{kt}$$

where

f is the frequency;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

k is a factor depending on sweep rate;

t is the time.

For this test, the sweep rate is one octave per minute (see 4.1.6) and thus $k = \log_e 2 = 0{,}693$, if the time is expressed in minutes.

The number of octaves for a sweep cycle is given by:

$$X = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1}\right) = 6{,}644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1}\right)$$

where

X is the number of octaves;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

f_2 is the upper frequency limit of the sweep.

Values produced utilizing the above formula are given in Table A.1 and show the rounded times associated with the recommended numbers of sweep cycles and frequency ranges (see 5.3.1).

For a digital system the output sine wave can be produced either from an external analogue synthesizer or internally from a frame of digital data containing a portion of a sinusoidal signal.

In the first case, a pure continuous sine wave is generated; this results in there being no difference between analogue and digital systems.

In the second case, the analogue drive frame produced by the D/A converter is not smooth, but consists of a number of small steps. A smoothing filter is necessary to operate on the signal to smooth out these steps and produce an essentially pure sinusoidal shape. It is also important to ensure that the drive frames are joined so as to produce a smooth sine wave.

Copyright International Electrotechnical Commission

Table A.1 – Number of sweep cycles and associated endurance times per axis

Frequency range Hz	Number of sweep cycles						
	1	2	5	10	20	50	100
1 to 35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
1 to 100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
5 to 100	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h
5 to 200	11 min	20 min	55 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h
5 to 500	13 min	25 min	1 h 0 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
5 to 2 000	17 min	33 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 to 55	5 min	10 min	25 min	45 min	1 h 45 min	4 h	8 h
10 to 150	8 min	16 min	40 min	1 h 15 min	2 h 30 min	7 h	13 h
10 to 500	11 min	23 min	55 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
10 to 2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 to 5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55 to 500	6 min	13 min	30 min	1 h	2 h	5 h	11 h
55 to 2 000	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
55 to 5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100 to 2 000	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h

NOTE 1 The endurance times given in the table have been calculated for a sweep rate of one octave per minute and are rounded up or down. The error caused by this in no case exceeds 10 %.

NOTE 2 The figures underlined have been derived from Annexes B and C.

An estimation of the number of stress cycles (N), the number of octaves (X) and the sweep duration (T) for one sweep cycle ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) may be obtained from the following:

$$N = \frac{\left(f_2 - f_1\right) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (stress cycles)}$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2} \text{ (octaves)}$$

$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (minutes)}$$

where

f_2 is the upper frequency limit of the sweep;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

SR is the sweep rate in octaves/minute.

This method of estimation of the number of stress cycles is also valid for Tables B.1, C.1 and C.2.

Copyright International Electrotechnical Commission

A.4.4 Tracking filters

A.4.4.1 Analogue filters

These may be constant bandwidth (CB) or constant percentage bandwidth (CPB). In each case the response time (T_r) is given by:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

where

T_r is in seconds;

BW is the bandwidth in hertz (Hz).

For example:

for a CB type of filter set to 10 Hz bandwidth:

$T_r = \frac{1}{10}$ = 100 ms and is constant across the whole tuning range;

for a CPB type of filter set, for example, to 10 % at the tuned frequency f

BW = 0,1 f;

$T_r = \frac{1}{BW}$ = 10 periods at the tuned frequency.

When tracking filters are used in a control loop the response time is very important. A long response time can slow down the overall control response and may result in instability or even loss of control. In addition, the response time may limit the sweep speed in swept sine tests, particularly at low frequencies for CPB types where T_r can be tens of seconds (see 4.1.3).

For this reason, many tracking filters compromise by having either multiple CB settings, automatically switched by the tuning frequency, or they have a CB response at low frequencies up to some set frequency and CPB response above this.

As a general rule, the tracking filter should respond at least five times faster than the controller compression speed in order to prevent mutual interaction and control instability. The filter bandwidth will need always to be less than the working tuned frequency.

See Tables A.2 and A.3 for response times.

Table A.2 – CB response time

Bandwidth Hz	**Times** s
0,1	10
0,5	2
1	1
5	0,2
10	0,1

Copyright International Electrotechnical Commission

Table A.3 – CPB response time

Frequency Hz	Bandwidth %		
	1	5	10
	Time s	Time s	Time s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0,4	0,2
100	1	0,2	0,1
500	0,2	0,04	0,02
1 000	0,1	0,02	0,01
2 000	0,05	0,01	0,005

A.4.4.2 Digital filters

Digital systems employ a numerical algorithm technique to reproduce an equivalent of an analogue tracking filter. The final result is no different in the extraction of the fundamental signal but, in the case of digital control, it could be at the cost of increasing the loop response time. This may effect the accuracy of the control at higher frequencies.

A.4.5 Control signal measurement

Digital systems employ an anti-aliasing filter before digitizing the data. This filter is progressively stepped along the frequency range as the frequency sweep progresses and has the effect of removing the high frequency components. As a result of this, the signal seen by a digital system may have a lower r.m.s. value, which could result in the digital system controlling the test at a higher level when compared to an equivalent analogue control system. Use of a tracking filter with both digital and analogue control systems will overcome this problem.

A.5 Equipment normally used with vibration isolators

A.5.1 Transmissibility factors for vibration isolators

When a specimen would normally be mounted on vibration isolators, but they are not available and their characteristics are unknown and, in addition, the relevant specification has not allowed for this situation, it is necessary to modify the specified level in such a way as to provide a more realistic vibration input to the specimen. It is recommended that this modified level be derived by using values taken from the curves given in Figure A.1 described below:

a) curve A relates to a type of loaded vibration isolator of high resilience having a natural frequency, when considering a single degree of freedom, not exceeding 10 Hz;

b) curve B relates to a type of loaded vibration isolator of medium resilience having a natural frequency, as qualified above, in the range 10 Hz to 20 Hz;

c) curve C relates to a type of loaded vibration isolator of low resilience having a natural frequency, as qualified above, in the range of 20 Hz to 35 Hz.

Curve B is derived from vibration measurements made on typical aircraft equipment fitted with highly damped all-metal mountings having a natural frequency of approximately 15 Hz considering a single degree of freedom.

Very little data were available for vibration isolators represented by curves A and C. These were derived by extrapolation from curve B, considering natural frequencies of 8 Hz and 25 Hz respectively.

Copyright International Electrotechnical Commission

The transmissibility curves have been estimated to envelop the transmissibility characteristics likely to arise in an installation in which modes are coupled. The use of these curves, therefore, makes an allowance for the vibration levels arising at the periphery of a specimen from the combined effects of translational and rotational motions.

The most appropriate transmissibility curve should be selected from Figure A.1 and the specified vibration levels should be multiplied by values taken from this curve over the required frequency range. The product of these values may result in test levels which may not be reproducible in the laboratory. In this case, the test engineer should adjust the levels in such a way that the maximum possible level is achieved at all times throughout the complete frequency range. It is of the utmost importance that the actual values used are stated in the test report.

Vibration, during the transportation phase, will often be the most severe experienced by a product, particularly where it is destined to be used in a benign environment; for example, in a computer room. The testing of such a product would normally take place in its transportation packaging, if available. However, there will be occasions when the packaging is not available and yet testing is still needed. This subject is dealt with, in detail, in IEC 60068-2-47.

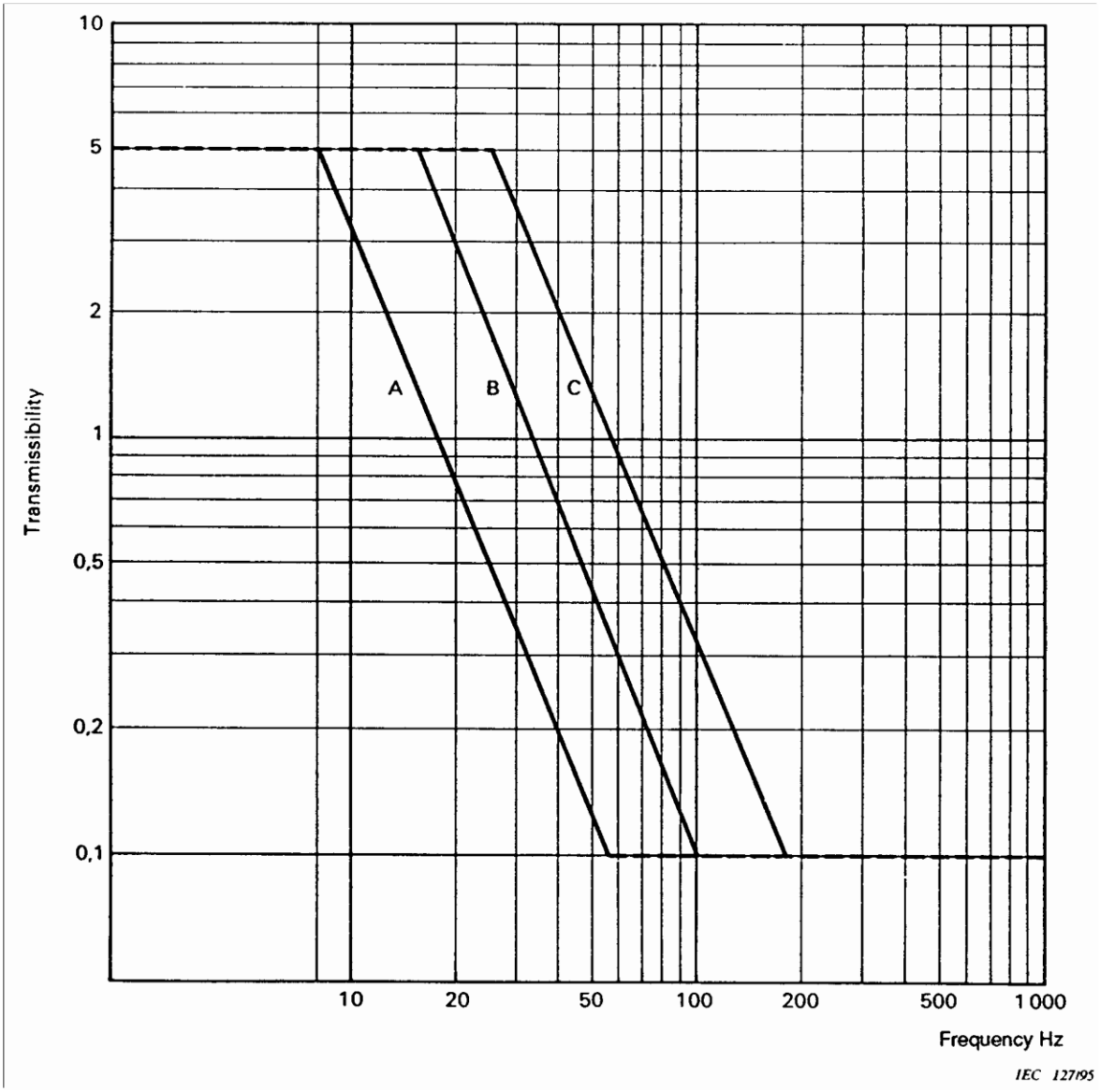


Figure A.1 – Generalized transmissibility factors for vibration isolators

Copyright International Electrotechnical Commission

A.5.2 Temperature effect

It is important to note that many vibration isolators contain material which is temperature-dependent. This may also apply to the material of the packaging.

If the fundamental resonance frequency of the product on the vibration isolators or within the packaging is within the test frequency range, caution must be exercised in deciding the length of time for which any endurance should be applied.

In some circumstances it may be unreasonable to apply continuous excitation without permitting recovery. If the actual time distribution of excitation of this fundamental resonance frequency is known, an attempt should be made to simulate it. If the actual time distribution is not known then excessive overheating should be avoided by limiting the periods of excitation in a manner which will require engineering judgement, taking into account 5.3.

A.6 Duration

A.6.1 Basic concept (see 5.3.1)

Many existing specifications describe the sweep endurance phase of a vibration test in terms of time duration. This makes it virtually impossible to correlate the behaviour of one resonant specimen with another if their frequency ranges are dissimilar, since the number of occasions on which the resonance will be excited will be different. For instance, it is often considered that, for a given acceleration value and endurance time, the test is more severe with a wide frequency range than with a narrow one; in fact the reverse is the case. The concept of the number of sweep cycles as an endurance parameter overcomes this problem since the resonances will be excited equally, irrespective of the frequency range.

A.6.2 Test

Where the test is simply to demonstrate the ability of a specimen to survive and/or operate at the appropriate amplitudes, the test need only continue for a duration sufficient to demonstrate this requirement over the specified frequency range. In cases where the ability of an item to withstand the cumulative effects of vibration such as fatigue and mechanical deformation is to be demonstrated, the test should be of a sufficient duration to accumulate the necessary stress cycles. For demonstration of unlimited fatigue life, a total of 10^7 stress cycles is normally considered adequate.

A.7 Dynamic response

The major causes of damage are the dynamic stresses produced within the test specimen. The classic example is the stress produced within a simple spring/mass system, when the system is attached to a vibrating body whose inertia is large in relation to that of the mass. At the frequency of resonance the spring/mass responds with an increase in amplitude of motion, inducing increased stress in the spring. The performance of an endurance test at such a resonance frequency requires a great deal of engineering judgement. The difficulty lies mainly in determining which resonances are significant. An additional problem might be that of maintaining the driving frequency at resonance.

At higher frequencies particularly, the resonances may not be very apparent but nevertheless high stress levels may occur locally. Whilst some specifications attempt to define the severity of a resonance by an arbitrary value for the dynamic magnification, this method has not been adopted for this test.

The procedures given herein imply that the vibration amplitude (displacement or acceleration) shall be kept to a prescribed value independent of the dynamic reaction of the specimen. This is in accordance with the state of the art of vibration testing of a general kind suitable for standardization.

Copyright International Electrotechnical Commission

It is well known that when a specimen is excited at its resonance frequency, its apparent mass can be high in relation to that of its operational mounting structure. In such a case, the reaction of the specimen can be considerable. The driving force and the mechanical impedance of the structure are normally not known and general assumptions regarding these parameters are usually extremely difficult to make.

Force control is foreseen as a means of reducing the above problem but is not included in the test, since it is not possible at present to give information on procedures, measurements and tolerances. When such a test is called for by the relevant specification, it is possible either to use force transducers or to rely on a measurement of the driving current. This latter procedure has certain drawbacks, since the current may not be proportional to the force over parts of the frequency range specified for the test. Nevertheless, with good engineering judgement the method utilizing current measurement can be used, particularly if a limited frequency range is involved.

Thus, whilst a force-controlled test may appear to be attractive, caution must be exercised in its use. Certainly in some cases, for example components, the amplitude-controlled test is almost always more appropriate (see Clause 8).

A.8 Performance evaluation

When appropriate, items should be operated either throughout the test or at appropriate phases of the test, in a manner representative of their functioning conditions. At suitable intervals throughout the endurance phase, and towards the end of it, functional checks of the specimen are recommended.

For specimens in which vibration may influence the switch-on and switch-off function (e.g. interfering with the operation of a relay) such functioning should be repeated to demonstrate a satisfactory performance in this respect, either over the frequency range of the test, or at those frequencies likely to cause interference.

If the test is to demonstrate survival only, the functional performance of specimens should be assessed after the completion of vibration endurance (see 8.3 and Clause 11).

A.9 Initial and final measurements

The purpose of the initial and final measurements is to compare particular parameters in order to assess the effect of vibration on the specimen.

The measurements may include, as well as visual requirements, electrical and mechanical operational and structural characteristics (see Clauses 7 and 11).

Copyright International Electrotechnical Commission

Annex B
(informative)

Examples of severities primarily intended for components

The possible number of severities allowed by Clause 5 is very large. To simplify the application of this standard, examples of severities primarily intended for components have been selected from the recommended parameters for endurance stated in Clause 5 of this test and are given in Table B.1. The conditions for testing are as prescribed in this standard.

Table B.1 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency

	Number of sweep cycles in each axis			Examples of application
Amplitude [1] **Frequency range** Hz	**0,35 mm or 50 m/s²**	**0,75 mm or 100 m/s²**	**1,5 mm or 200 m/s²**	
10 to 55	10	10		Large industrial power plant, heavy rotating machinery, steel rolling mills, large merchant and naval ships
10 to 500	10	10		General purpose land-based and land transport, fast small marine craft (naval or civil) and general aircraft use
10 to 2 000		10	10	Space launchers (200 m/s²). Engine mounted components in aircraft
55 to 500	10	10		Application as for 10 Hz to 500 Hz but applicable to small rigid components with no resonance response at frequencies below 55 Hz
55 to 2 000		10	10	Application as for 10 Hz to 2 000 Hz but applicable to small rigid components with no resonance response at frequencies below 55 Hz
100 to 2 000		10	10	Application as for 55 Hz to 2 000 Hz but applicable to very small components of very rigid construction, for example, encapsulated transistors, diodes, resistors, capacitors and integrated circuits
NOTE Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is used.				
[1] Displacement amplitude below the cross-over frequency and acceleration amplitude above the cross-over frequency. The cross-over frequencies are between 58 Hz and 62 Hz (see 5.2).				

For a method of estimation of the number of stress cycles see A.4.3.

Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see Clause A.1.

For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known, the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

Annex C
(informative)

Examples of severities primarily intended for equipment

C.1 General

When the actual vibration severity is known, it should be used (see A.4.1). When the severity is not known, it is necessary to make an arbitrary choice, but one which is based, as far as possible, on similar generalized severities for related applications as given in this annex.

Several combinations of frequency range, vibration amplitude and endurance duration are given as examples of severities primarily intended for the testing of equipment, and other articles (see Tables C.1 and C.2). These severities have been selected from the recommended parameters for endurance stated in Clause 5 of this standard and they are considered to cover the more common applications of the vibration test. No attempt has been made to produce an exhaustive list and requirements not covered by this annex should be chosen from the other recommended severities of this standard and should be prescribed in the relevant specification.

In certain applications, it may not be practicable to use endurance by sweeping and it may be necessary to carry out tests at critical frequencies. Such tests should be prescribed by the relevant specification, in accordance with the appropriate clauses of this standard, and using this annex for guidance.

Table C.1 does not contain examples for frequency ranges below 10 Hz and so there are no cross-over frequencies between 8 Hz and 10 Hz. However, many of the examples given could have a starting frequency of 5 Hz or even 1 Hz depending upon application, and if called for by the relevant specification.

Table C.1 – Endurance by sweeping – Examples with lower cross-over frequency

	Number of sweep cycles in each axis			Examples of application
Amplitude m/s² **Frequency range** Hz	**5**	**10**	**20**	
10 to 150	50	–	–	Stationary equipment such as large computers and rolling mills, long-term exposure
10 to 150	20	–	–	Stationary equipment such as large transmitters and air conditioners, intermittent exposure
10 to 150	–	20	20	Equipment intended for installation in or transport by ships, railway and land vehicles
NOTE Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is used.				

For a method of estimation of the number of stress cycles, see A.4.3.

C.2 Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

Copyright International Electrotechnical Commission

For almost fixed frequencies see Clause A.1.

For pre-determined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known, the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.

Table C.2 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency

	Number of sweep cycles in each axis				Examples of application
Amplitude [1] **Frequency range** Hz	**0,15 mm or 20 m/s²**	**0,35 mm or 50 m/s²**	**0,75 mm or 100 m/s²**	**1,5 mm or 200 m/s²**	
1 to 35[2]	–	100	100	–	Equipment mounted adjacent to heavy rotating machinery
10 to 55[2]	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipment intended for large power plants and for general industrial use
10 to 150	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipment intended for large power plants and for general industrial use, where it has been found that appreciable vibration components exist beyond 55 Hz
10 to 500	10	10	–	–	Equipment for general aircraft use, the higher values apply to equipment close to, but not within, the engine compartment
10 to 2 000	–	10	10	– 10	Equipment for high-speed aircraft, the higher values apply to equipment close to, but not within, the engine compartment Aircraft engine compartments

NOTE Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is to be used.

[1] Displacement amplitude below the cross-over frequency and acceleration amplitude above the cross-over frequency 58 Hz to 62 Hz (see 5.2).

[2] Constant displacement amplitude test.

For a method of estimation of the number of stress cycles see A.4.3.

C.3 Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see Clause A.1.

For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known, the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.

Copyright International Electrotechnical Commission

Bibliography

IEC 60050(721):1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 721: Telegraphy, facsimile and data communication*

IEC 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2-64: Test methods – Test Fh: Vibration broad-band random (digital control) and guidance*

Copyright International Electrotechnical Commission

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 42
INTRODUCTION 44

1 Domaine d'application 45
2 Références normatives 45
3 Termes et définitions 45
4 Exigences pour l'essai 48
4.1 Caractéristiques requises 48
4.1.1 Mouvement fondamental 48
4.1.2 Mouvement parasite 48
4.1.3 Tolérance sur le signal 49
4.1.4 Tolérances sur l'amplitude de la vibration 49
4.1.5 Tolérances sur la fréquence 50
4.1.6 Balayage 50
4.2 Technique de pilotage 50
4.2.1 Pilotage à partir d'un seul point/de plusieurs points 50
4.2.2 Pilotage à partir de plusieurs références 51
4.3 Fixation 52
5 Sévérités 52
5.1 Gamme de fréquences 52
5.1.1 Fréquence inférieure f_1 Hz 52
5.1.2 Frequence supérieure f_2 Hz 52
5.2 Amplitude des vibrations 52
5.3 Durée de l'endurance 56
5.3.1 Endurance par balayage 56
5.3.2 Endurance aux fréquences fixes 57
6 Préconditionnement 57
7 Mesures initiales 57
8 Epreuve 57
8.1 Généralités 57
8.2 Recherche et étude de fréquences critiques 58
8.3 Procédures d'endurance 58
8.3.1 Endurance par balayage 58
8.3.2 Endurance aux fréquences fixes 59
9 Mesures intermédiaires 59
10 Reprise 59
11 Mesures finales 59
12 Renseignements que doit donner la spécification particulière 60
13 Renseignements que doit fournir le rapport d'essai 60

Annexe A (informative) Guide pour l'essai Fc 62
Annexe B (informative) Exemples de sévérités destinées principalement aux composants 77
Annexe C (informative) Exemples de sévérités destinées principalement aux matériels 79

Copyright International Electrotechnical Commission

Bibliographie 82

Figure 1 – Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert basse (8 Hz à 10 Hz) 54

Figure 2 – Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert élevée (58 Hz à 62 Hz) 55

Figure 3 – Abaque donnant l'amplitude de déplacement des vibrations en fonction de la fréquence (applicable seulement dans les gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz) 56

Figure A.1 – Facteurs de transmissibilité généralisée pour isolateurs de vibrations 74

Tableau A.1 – Nombre de cycles de balayage et durées d'endurance associées par axe 70

Tableau A.2 – Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante 72

Tableau A.3 – Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante en pourcentage 72

Tableau B.1 – Endurance par balayage – Exemples avec une fréquence de transfert élevée 77

Tableau C.1 – Endurance par balayage – Exemples avec des fréquences de transfert basses 79

Tableau C.2 – Endurance par balayage – Exemples des fréquences de transfert élevées 80

Copyright International Electrotechnical Commission

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 600658-2-6 a été établie par le comité d'études 104 de la CEI: Conditions, classification et essais d'environnement.

Cette septième édition annule et remplace la sixième édition, publiée en 1995. Elle constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

– Formulation sur les essais d'emballage souple conforme à celle décidée à la réunion du comité d'études 104 tenue à Stockholm en 2000.
– Référence à la dernière version de la CEI 60068-2-47: Fixation.
– Simplification de la mise en page de la norme en remplaçant quelques tableaux par du texte.
– Ajout d'exigences sur le rapport d'essai (voir Article 13).

Copyright International Electrotechnical Commission

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/439/FDIS	104/449/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60068, présentées sous le titre général *Essais d'environnement*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60068 donne une méthode d'essai applicable aux composants, matériels et autres articles qui peuvent, pendant leur transport ou leur utilisation, être soumis à des conditions comprenant des vibrations de nature harmonique engendrées surtout par des forces rotatives, pulsatoires ou oscillantes, comme il en existe à bord des navires, des avions, des véhicules terrestres, des appareils à voilure tournante et dans les applications spatiales, ou qui peuvent être causées par des machines ou par des phénomènes sismiques.

La présente norme consiste essentiellement à soumettre un spécimen à des vibrations sinusoïdales dans une gamme de fréquences donnée ou fréquences discrètes, pendant une durée déterminée. Une étude et recherche de la réponse en fréquence du spécimen peut être spécifiée afin d'en déterminer les fréquences critiques.

La spécification particulière doit indiquer si le spécimen doit fonctionner ou non en présence de vibrations ou s'il suffit qu'il soit encore en état de marche après avoir été soumis à ces vibrations.

Il faut insister sur le fait que les essais aux vibrations requièrent toujours un certain degré d'appréciation technique, et il convient que le fournisseur et le client en aient tous deux pleinement conscience. Toutefois, l'essai aux vibrations sinusoïdales étant de type déterministe, il est relativement simple à effectuer. Il s'applique facilement aussi bien à l'essai de diagnostic qu'à celui de durée de vie.

La partie principale de la présente norme traite surtout des méthodes pour piloter l'essai en des points spécifiés au moyen de méthodes, à la fois analogiques et numériques, et décrit en détail la procédure d'essai. Les exigences sur le mouvement vibratoire, le choix des sévérités, y compris les gammes de fréquences, les amplitudes et les durées d'essai d'endurance sont aussi spécifiées car ces sévérités représentent une série rationnelle de paramètres. On attend du rédacteur de spécifications particulières qu'il choisisse la procédure d'essai et les valeurs adaptées au spécimen et à son utilisation.

Certains termes ont été définis afin de faciliter une bonne compréhension du texte. Ces définitions sont données à l'Article 3.

L'Annexe A donne des informations générales pour l'essai et les Annexes B et C fournissent des lignes directrices pour le choix des sévérités destinées aux composants et aux matériels.

Copyright International Electrotechnical Commission

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60068 fournit une méthode d'essai qui donne des règles d'exécution normalisées pour déterminer l'aptitude des composants, matériels et autres articles ci-après désignés «spécimens», à résister à des sévérités spécifiées de vibrations sinusoïdales. S'il est prevu de soumettre un objet aux essais en étant non emballé, sans son emballage, il est désigné comme un spécimen d'essai. Cependant, si l'objet est emballé, alors l'objet lui-même est désigné comme produit et l'objet ainsi que son emballage sont désignés comme spécimen d'essai.

L'objet de cet essai est de déterminer les faiblesses mécaniques et/ou les dégradations des performances spécifiées des spécimens, et d'utiliser ces renseignements conjointement avec la spécification particulière pour décider si un spécimen est acceptable ou non. Dans certains cas, la méthode d'essai peut également être utilisée pour démontrer la robustesse mécanique d'un spécimen et/ou pour étudier son comportement dynamique. La classification des composants en catégories peut également se faire sur la base d'une sélection faite à partir des sévérités données dans l'essai.

2 Références normatives

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

CEI 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 60068-2-47, *Essais d'environnement – Partie 2-47: Essais – Fixation de spécimens pour essais de vibrations, d'impacts et autres essais dynamiques*

CEI 60721-3 (toutes les parties), *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités*

ISO 2041, *Vibrations et chocs – Vocabulaire*

ISO/CEI 17025: 2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE 1 Les termes utilisés sont généralement pris de l'ISO 2041 et de la CEI 60068-1. Cependant, les termes «cycle de balayage» (3.4) et «tolérance sur le signal» (3.5) ont un sens particulier dans la présente norme.

Par ordre alphabétique:

Amortissement 3.8
Balayage de fréquences restreint 3.11

Copyright International Electrotechnical Commission

Cycle de balayage	3.4
Fréquence critique	3.9
Fréquence de résonance centrée	3.10
g_n	3.12
Mouvement fondamental	3.6
Mouvement réel	3.7
Pilotage à partir de plusieurs points	3.3.2
Pilotage à partir d'un seul point	3.3.1
Point de fixation	3.1
Point de référence	3.2.2
Point de référence fictif	3.2.3
Point de vérification	3.2.1
Points de mesure	3.2
Tolérance sur le signal	3.5

NOTE 2 En ce qui concerne les autres termes décrits ci-après, soit ils ne sont pas identiques à ceux définis dans l'ISO 2041 et dans la CEI 60068-1, soit ils n'existent pas dans ces deux normes.

3.1
point de fixation
partie du spécimen en contact avec le bâti de fixation ou la table vibrante en un point où le spécimen est normalement fixé en service

NOTE 1 Si une partie de la structure réelle de montage est utilisée comme bâti, il convient que les points de fixation soient pris comme étant ceux de la structure de montage et non ceux du spécimen.

NOTE 2 Si le spécimen est constitué d'un produit emballé, le point de fixation peut être interprété comme la surface du spécimen qui est en contact avec la table vibrante.

3.2
points de mesure
points particuliers où des informations sont recueillies pour la conduite de l'essai

NOTE 1 Ils sont de deux types principaux, définis ci-après.

NOTE 2 On peut faire des mesures en certains points du spécimen afin de connaître son comportement; ces points ne sont pas considérés comme des points de mesure au sens de la présente norme. For further details, see A.2.1.

3.2.1
point de vérification
point situé sur le bâti de fixation, sur la table vibrante ou sur le spécimen le plus près possible d'un des points de fixation et, dans tous les cas, lié de manière rigide à ce dernier

NOTE 1 On utilise plusieurs points de vérification pour s'assurer que les exigences de l'essai sont satisfaites.

NOTE 2 S'il n'y a pas plus de quatre points de fixation, chacun d'eux sera pris comme point de vérification. Pour les produits emballés, dans lesquels un point de fixation peut être interprété comme la surface d'emballage en contact avec la table vibrante, un point de vérification peut être utilisé, à condition qu'il n'y ait pas d'effets dus à des résonances de la table vibrante ou de la structure de montage dans la gamme de fréquences spécifiée pour l'essai. Si tel est le cas, un pilotage à partir de plusieurs points peut être nécessaire, mais voir aussi la Note 3. S'il y a plus de quatre points de fixation, quatre points de fixation représentatifs seront définis dans la spécification particulière pour être utilisés comme points de vérification.

NOTE 3 Dans les cas particuliers, par exemple pour des spécimens complexes ou de dimensions importantes, la spécification particulière indiquera les points de vérification, s'ils ne sont pas à proximité des points de fixation.

NOTE 4 Dans le cas d'un grand nombre de petits spécimens montés sur un seul bâti, ou dans celui d'un petit spécimen ayant plusieurs points de fixation, on peut sélectionner, pour obtenir le signal de pilotage, un seul point de vérification (c'est-à-dire le point de référence), qui sera lié au support plutôt qu'aux points de fixation des

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

spécimens. Ceci n'est valable que lorsque la plus basse fréquence de résonance du support chargé est nettement au-dessus de la limite supérieure de fréquence de l'essai.

3.2.2
point de référence
point choisi parmi les points de vérification et dont on utilise le signal pour piloter l'essai afin de satisfaire aux exigences de la présente norme

3.2.3
point de référence fictif
point obtenu à partir de points de vérification multiples, soit manuellement soit automatiquement, dont le résultat est utilisé pour piloter l'essai afin de satisfaire aux exigences de la présente norme

3.3
méthodes de pilotage

3.3.1
pilotage à partir d'un seul point
méthode de pilotage utilisant le signal venant du capteur placé au point de référence, afin de maintenir ce point au niveau de vibrations spécifié (voir 4.1.4.1)

3.3.2
pilotage à partir de plusieurs points
méthode de pilotage utilisant les signaux provenant de chacun des capteurs placés aux points de vérification

NOTE Les signaux sont traités soit par des méthodes de comparaison, soit en faisant la moyenne arithmétique de manière continue, selon ce que requiert la spécification particulière (voir 4.1.4.1)

3.4
cycle de balayage
le fait de parcourir une fois dans chaque sens la gamme de fréquences spécifiée, par exemple 10 Hz à 150 Hz à 10 Hz

NOTE Les manuels d'utilisation des fabricants de systèmes de pilotage numérique font souvent référence à un cycle de balayage allant de f_1 à f_2, et non de f_1 à f_2 à f_1.

3.5
tolérance sur le signal

tolérance sur le signal T = $\left(\frac{NF}{F} - 1\right) \times 100\ \%$

où

NF est la valeur efficace du signal non filtré;

F est la valeur efficace du signal filtré.

NOTE Cette grandeur est utilisée quel que soit le signal utilisé pour contrôler l'essai: accélération, vitesse ou déplacement (voir A.2.2).

3.6
mouvement fondamental
mouvement à la fréquence de vibration d'excitation au point de référence (voir aussi 4.1.1)

3.7
mouvement réel
mouvement représenté par le signal à large bande provenant du capteur placé au point de référence

Copyright International Electrotechnical Commission

3.8
amortissement
terme générique lié à de nombreux mécanismes de dissipation d'énergie dans un système

NOTE En pratique, l'amortissement dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de structure, le mode de vibration, la déformation, la force appliquée, la vitesse, les matériaux, le glissement des joints, etc.

3.9
fréquence critique
fréquence pour laquelle:

– apparaît un mauvais fonctionnement et/ou une altération des propriétés du spécimen, dus aux vibrations, et/ou
– se produisent des résonances mécaniques et/ou d'autres manifestations d'une réponse, par exemple, des martèlements

3.10
fréquence de résonance centrée
fréquence automatiquement centrée sur la fréquence de résonance réelle apparaissant au cours de la recherche et de l'étude des fréquences critiques

3.11
balayage de fréquences restreint
balayage sur une gamme de fréquences restreinte comprise entre 0,8 et 1,2 fois la fréquence critique

3.12
g_n
accélération normalisée due à la pesanteur terrestre, variable en fonction de l'altitude et de la latitude géographique

NOTE Pour les besoins de la présente norme, la valeur de g_n est arrondie au nombre entier le plus proche, soit 10 m/s^2.

4 Exigences pour l'essai

4.1 Caractéristiques requises

Les caractéristiques requises s'appliquent à tout l'appareillage d'essai, ce qui inclut les amplificateurs de puissance, l'excitateur, les moyens de fixation, le système de pilotage et le spécimen monté pour l'essai.

4.1.1 Mouvement fondamental

Le mouvement fondamental doit être une fonction sinusoïdale du temps et tel que les points de fixation du spécimen se déplacent sensiblement en phase et suivant des directions rectilignes et parallèles, compte tenu des limitations de 4.1.2 et de 4.1.3.

4.1.2 Mouvement parasite

4.1.2.1 Mouvement axial transversal

Le niveau maximal de vibrations aux points de vérification et selon tout axe perpendiculaire à l'axe spécifié, ne doit pas dépasser 50 % de l'amplitude spécifiée jusqu'à 500 Hz ni 100 % pour les fréquences dépassant 500 Hz. Les mesures doivent seulement couvrir la gamme de fréquences spécifiée. Dans les cas spéciaux, par exemple pour les petits spécimens, l'amplitude du mouvement axial transversal toléré peut être limitée à 25 %, si la spécification particulière le prescrit.

Copyright International Electrotechnical Commission

Dans certains cas, par exemple pour les spécimens de grande taille ou de masse élevée ou encore pour certaines fréquences, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Dans de tels cas, la spécification particulière doit dire laquelle des exigences suivantes s'applique:

a) noter et préciser dans le rapport d'essai tout mouvement axial transversal dépassant les limites établies ci-dessus;

b) ou ne pas contrôler le mouvement axial transversal s'il est établi que celui-ci ne présente pas de danger pour le spécimen.

4.1.2.2 Mouvement rotatif

Dans le cas de spécimens de grande taille ou de masse élevée, un mouvement important de rotation parasite de la table vibrante peut survenir. La spécification particulière doit alors prescrire un niveau acceptable. Le niveau atteint doit être précisé dans le rapport d'essai (voir également A.2.4).

4.1.3 Tolérance sur le signal

Les mesures de la tolérance sur le signal d'accélération doivent être faites, si ceci est précisé dans la spécification particulière. Elles doivent être exécutées au point de référence et doivent couvrir les fréquences allant jusqu'à 5 000 Hz ou cinq fois la fréquence d'excitation, si cette dernière valeur est la plus petite. Toutefois, cette fréquence d'analyse maximale peut être portée à la fréquence supérieure de l'essai pour le balayage, ou au-delà, si cela est prescrit par la spécification particulière. Sauf spécification contraire dans la spécification particulière, la tolérance sur le signal ne doit pas être supérieure à 5 % (voir 3.5).

Si prescrit dans la spécification particulière, l'amplitude de l'accélération du signal de pilotage à la fréquence d'excitation fondamentale doit être rétablie à la valeur spécifiée en utilisant un filtre de poursuite (voir A.4.4).

Dans le cas de spécimens de grande taille ou complexes, où les valeurs de tolérance sur le signal spécifiées ne peuvent pas être respectées en certains points de la gamme de fréquences et où il n'est guère possible d'utiliser un filtre de poursuite, il n'est pas nécessaire de rétablir l'amplitude de l'accélération, mais la tolérance sur le signal doit être précisée dans le rapport d'essai (voir A.2.2).

NOTE Si un filtre de poursuite n'est pas utilisé et si la tolérance sur le signal est supérieure à 5 %, la reproductibilité peut être affectée de façon significative du fait du choix entre les systèmes de pilotage analogique ou numérique (voir A.4.5).

La spécification particulière peut demander que l'on précise dans le rapport d'essai les valeurs de la tolérance sur le signal définie ci-dessus ainsi que la gamme de fréquences concernée, qu'un filtre de poursuite ait été utilisé ou non (voir A.2.2).

4.1.4 Tolérances sur l'amplitude de la vibration

L'amplitude du mouvement fondamental suivant l'axe requis, aux points de vérification et de référence, doit être égale à la valeur spécifiée avec les tolérances spécifiées ci-après. Ces tolérances comprennent les erreurs dues à l'instrumentation. La spécification particulière peut demander que le rapport d'essai précise le niveau de confiance utilisé dans l'évaluation des incertitudes de mesure.

Aux fréquences basses ou avec des spécimens de grande taille ou de masse élevée, il peut être difficile de respecter les tolérances requises. Dans ces cas-là, une tolérance plus large ou l'utilisation d'une autre méthode d'évaluation doit être prescrite par la spécification particulière et précisée dans le rapport d'essai.

4.1.4.1 Point de référence

La tolérance sur le signal de pilotage au point de référence doit être de ±15 % (voir A.2.3).

Copyright International Electrotechnical Commission

4.1.4.2 Points de vérification

Tolérance sur le signal de pilotage à chaque point de vérification:

±25 % jusqu'à 500 Hz;

±50 % au-dessus de 500 Hz.

(Voir A.2.3.)

4.1.5 Tolérances sur la fréquence

Les tolérances sur la fréquence suivantes s'appliquent.

4.1.5.1 Endurance par balayage

±0,05 Hz jusqu'à 0,25 Hz;

±20 % de 0,25 Hz à 5 Hz;

±1 Hz de 5 Hz à 50 Hz;

±2 % au-dessus de 50 Hz.

4.1.5.2 Endurance à une fréquence fixe

a) Fréquence fixe:

±2 %.

b) Fréquence quasi fixe:

±0,05 Hz jusqu'à 0,25 Hz;

±20 % de 0,25 Hz à 5 Hz;

±1 Hz de 5 Hz à 50 Hz;

±2 % au-dessus de 50 Hz.

4.1.5.3 Mesure de la fréquence critique

Lorsque les fréquences critiques (voir 8.2) doivent être comparées avant et après l'épreuve d'endurance, c'est-à-dire pendant une recherche et une étude des fréquences critiques, les tolérances suivantes doivent s'appliquer:

±0,05 Hz jusqu'à 0,5 Hz;

±10 % de 0,5 Hz à 5 Hz;

±0,5 Hz de 5 Hz à 100 Hz;

±0,5 % au-dessus de 100 Hz.

4.1.6 Balayage

Le balayage doit être continu et la fréquence doit varier exponentiellement en fonction du temps (voir A.4.3). La vitesse de balayage doit être d'une octave par minute avec une tolérance de ±10 %. Elle peut être modifiée pour la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 8.2).

NOTE Avec un système à pilotage numérique, il n'est pas strictement correct de se référer au balayage comme étant « continu », mais la différence n'est pas significative sur le plan pratique.

4.2 Technique de pilotage

4.2.1 Pilotage à partir d'un seul point/de plusieurs points

Lorsqu'un pilotage à partir de plusieurs points est spécifié ou nécessaire, la technique de pilotage doit être spécifiée.

Copyright International Electrotechnical Commission

La spécification particulière doit indiquer si l'on doit faire le pilotage à partir d'un ou de plusieurs points. S'il est prescrit un pilotage à partir de plusieurs points, la spécification particulière doit indiquer si l'on doit maintenir au niveau de vibrations spécifié l'amplitude moyenne des signaux aux points de vérification, ou l'amplitude du signal en un point particulier, par exemple celui qui a la plus grande amplitude, voir aussi A.2.3.

S'il n'est pas possible de réaliser le pilotage à partir d'un seul point, comme exigé par la spécification particulière, on doit effectuer le pilotage à partir de plusieurs points en vérifiant la valeur moyenne ou extrême des signaux aux points de vérification. Dans chacun de ces cas de contrôle en plusieurs points, le point de référence est un point de référence fictif. La méthode utilisée doit être précisée dans le rapport d'essai.

L'utilisation d'un pilotage à partir de plusieurs points n'assure pas que les tolérances de chaque point de vérification sont satisfaites. En général, il réduit l'écart par rapport aux valeurs nominales, par rapport à un pilotage à partir d'un seul point, au point de référence fictif.

Les techniques suivantes sont disponibles.

4.2.1.1 Technique de la moyenne

Dans cette méthode, l'amplitude de pilotage est calculée à partir des signaux de chaque point de vérification. Une amplitude de pilotage composite est formée par la moyenne arithmétique des amplitudes de signaux provenant des points de vérification. Cette moyenne arithmétique de l'amplitude de pilotage est ensuite comparée à l'amplitude spécifiée.

4.2.1.2 Technique de la moyenne pondérée

L'amplitude de pilotage a_C est formée par la moyenne des amplitudes de signaux provenant des points de vérification a_1 à a_n, conformément à leurs coefficients de pondération w_1 à w_n:

$$a_C = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \ldots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \ldots + w_n)$$

Cette technique de pilotage offre la possibilité que différents signaux de points de vérification contribuent de différentes manières au pilotage.

4.2.1.3 Technique des extrêmes

Dans cette méthode, une amplitude de pilotage composite est calculée à partir des amplitudes extrêmes maximales (MAX) ou minimales (MIN) de l'amplitude du signal mesurée à chaque point de vérification. Cette technique permet d'obtenir une amplitude de pilotage qui représente l'enveloppe des amplitudes de signaux à partir de chaque point de vérification (MAX) ou une limite inférieure des amplitudes de signaux à partir de chaque point de vérification (MIN).

4.2.2 Pilotage à partir de plusieurs références

Si ceci est spécifié dans la spécification particulière, des spectres de références multiples peuvent être définis pour différents points de vérification ou points de mesure ou différents types de variables contrôlées, par exemple, pour les essais de vibrations limités en force.

Lorsqu'un pilotage à partir de plusieurs références est spécifié, la technique de pilotage doit être prescrite à partir de:

Limitation: Tous les signaux de pilotage doivent être en dessous de leur référence appropriée;

Remplacement: Tous les signaux de pilotage doivent être au dessus de leur référence appropriée.

Copyright International Electrotechnical Commission

4.3 Fixation

Sauf spécification contraire dans la spécification particulière, les spécimens doivent être fixés sur l'appareillage d'essai selon les exigences de la CEI 60068-2-47. Pour les spécimens normalement montés sur isolateurs de vibrations, voir aussi la note de 8.3.2, ainsi que A.3.1, A.3.2 et l'Article A.5.

5 Sévérités

Une sévérité de vibration est définie par la combinaison de trois paramètres: gamme de fréquences, amplitude de vibration et durée de l'épreuve d'endurance (en nombre de cycles de balayage ou en temps).

Les valeurs de chaque paramètre doivent être prescrites par la spécification particulière. Elles peuvent être:

a) choisies à partir des valeurs données de 5.1 à 5.3;

b) choisies à partir des exemples de l'Annexe A ou de l'Annexe C;

c) déduites de l'environnement connu;

d) déduites d'autres sources connues de données particulières, par exemple, la série CEI 60721-3.

Afin de permettre une certaine souplesse dans les situations où l'environnement réel est connu, il peut être utile de spécifier une amplitude de l'accélération ayant une valeur donnée en fonction de la fréquence et, dans ces cas, la spécification particulière doit prescrire le niveau vibratoire en fonction de la fréquence. Les différents niveaux et leurs gammes de fréquences correspondantes, c'est-à-dire les points de rupture, doivent être choisis, chaque fois que cela est possible, à partir des valeurs données dans la présente norme.

Des exemples de sévérités sont donnés dans l'Annexe B pour les composants et dans l'Annexe C pour les matériels (voir aussi A.4.1 et A.4.2).

5.1 Gamme de fréquences

Si l'option a) de la gamme de fréquences d'essai est choisie, alors une fréquence inférieure peut être choisie à partir de 5.1.1 et une fréquence supérieure à partir de 5.1.2.

5.1.1 Fréquence inférieure f_1 Hz

0,1; 1; 5; 10; 55; 100

5.1.2 Frequence supérieure f_2 Hz

10; 20; 35; 55; 100; 150; 200; 300; 500; 1 000; 2 000; 5 000

Pour des applications particulières, des exemples de gammes de fréquences sont donnés dans les Tableaux B.1, C.1 et C.2.

5.2 Amplitude des vibrations

L'amplitude du déplacement, de la vitesse ou de l'accélération ou d'une combinaison de ces éléments doit être donnée dans la spécification particulière.

Au-dessous d'une certaine fréquence appelée «fréquence de transfert», toutes les amplitudes sont spécifiées à déplacement constant, alors qu'au-dessus de cette fréquence, elles sont données à vitesse constante ou à accélération constante. Des valeurs d'exemple sont données aux Figures 1 et 2, pour les deux fréquences de transfert différentes.

Chaque valeur de l'amplitude du déplacement est associée à une valeur correspondante de l'amplitude de l'accélération, de sorte que le niveau de vibration soit le même à la fréquence de transfert (voir A.4.1).

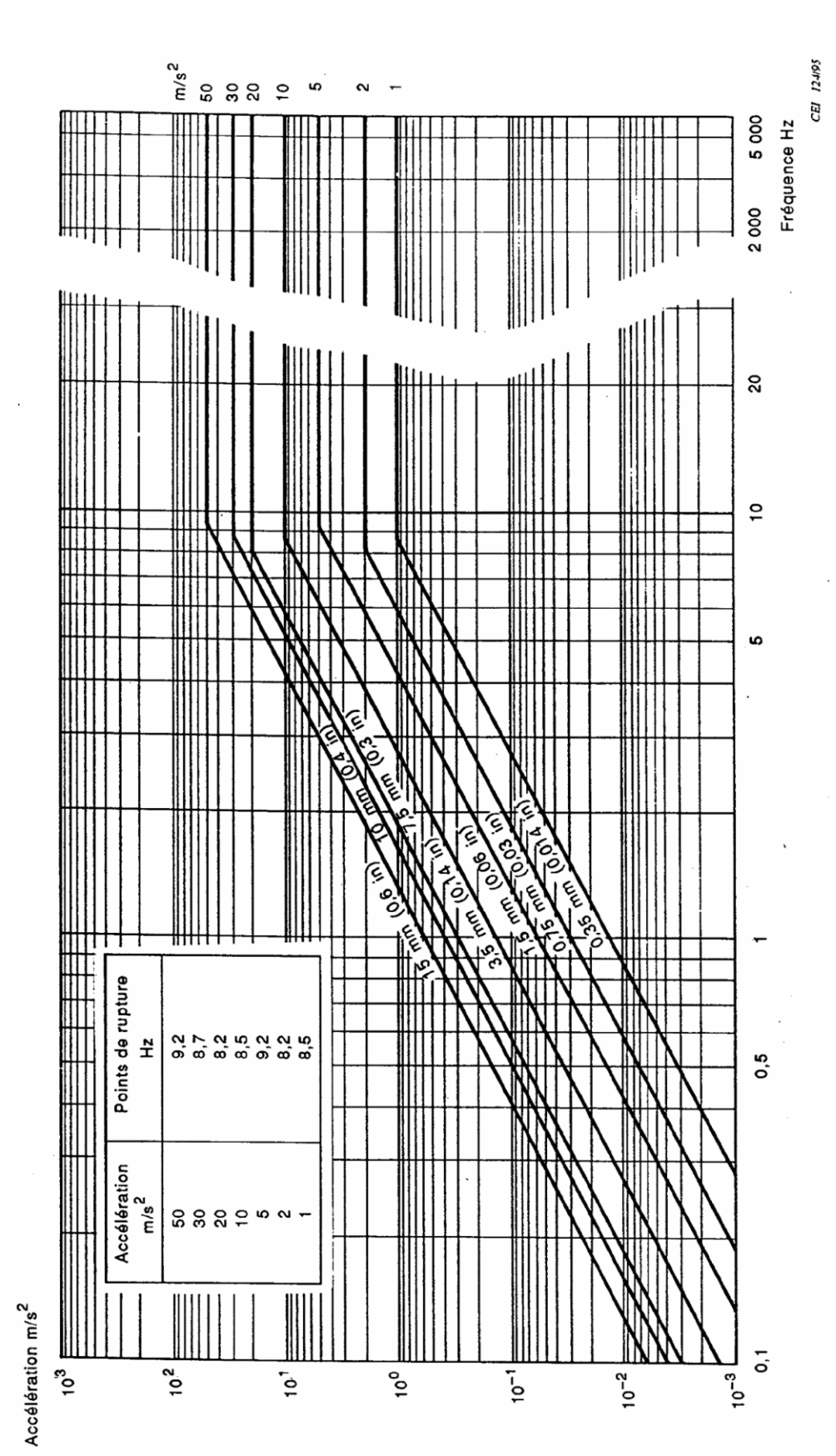
Copyright International Electrotechnical Commission

Lorsque, techniquement, il ne convient pas d'adopter les fréquences de transfert données dans ce paragraphe, la spécification particulière peut coupler des amplitudes de déplacement et d'accélération qui donnent une valeur différente de fréquence de transfert. Dans certains cas, on peut aussi spécifier plus d'une fréquence de transfert.

NOTE Des abaques donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence sont donnés sur les Figures 1, 2 et 3; toutefois, avant de les utiliser dans la zone des basses fréquences, il est conseillé de tenir compte des indications de A.4.1.

Jusqu'à une limite supérieure de fréquence de 10 Hz, il convient normalement de spécifier une amplitude de déplacement sur toute la gamme de fréquences. C'est pourquoi seules des amplitudes de déplacement sont spécifiées sur la Figure 3.

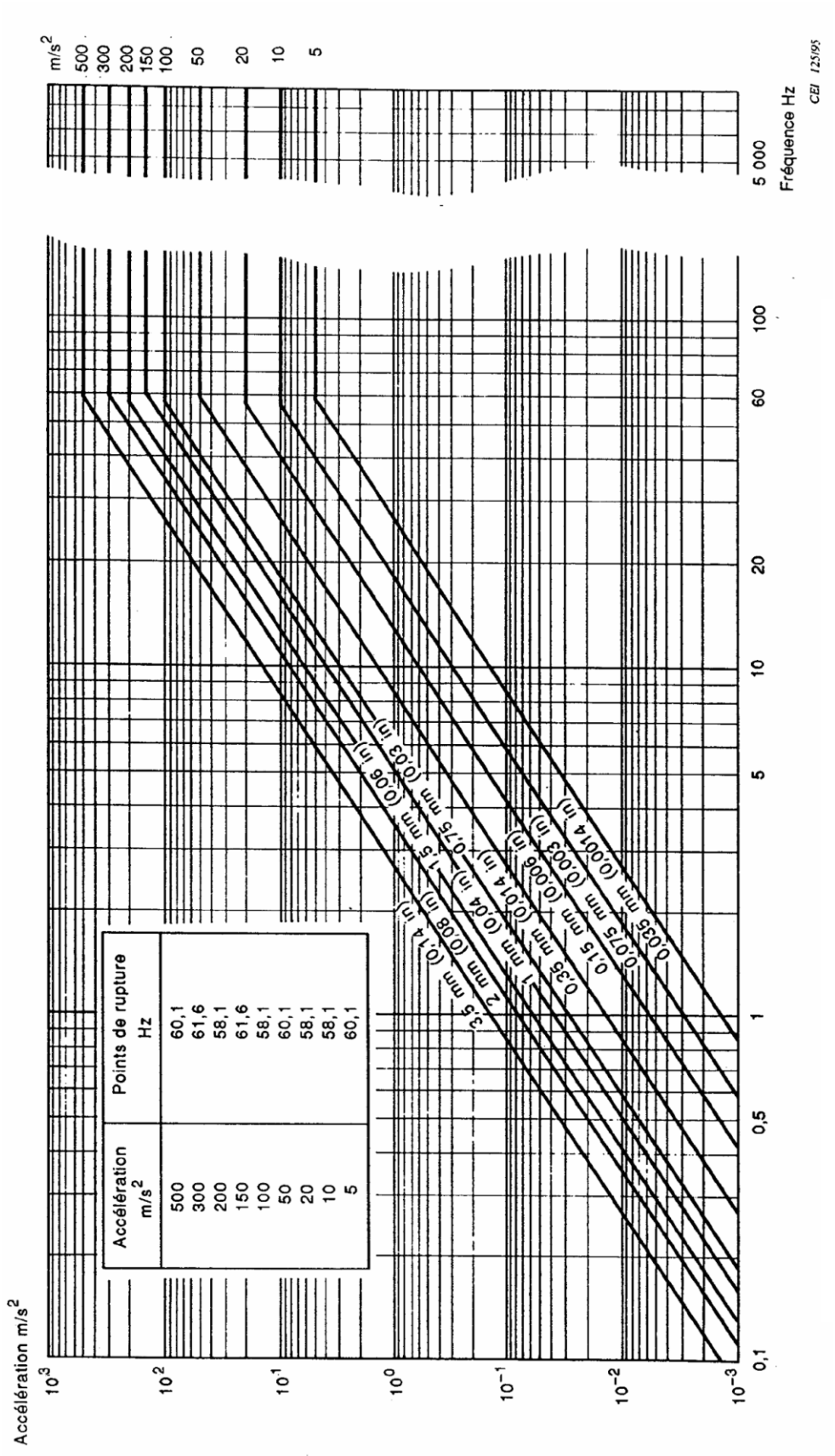
Copyright International Electrotechnical Commission



NOTE Il ne convient pas de considérer cet abaque comme une représentation graphique précise des sévérités.

Figure 1 – Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert basse (8 Hz à 10 Hz)

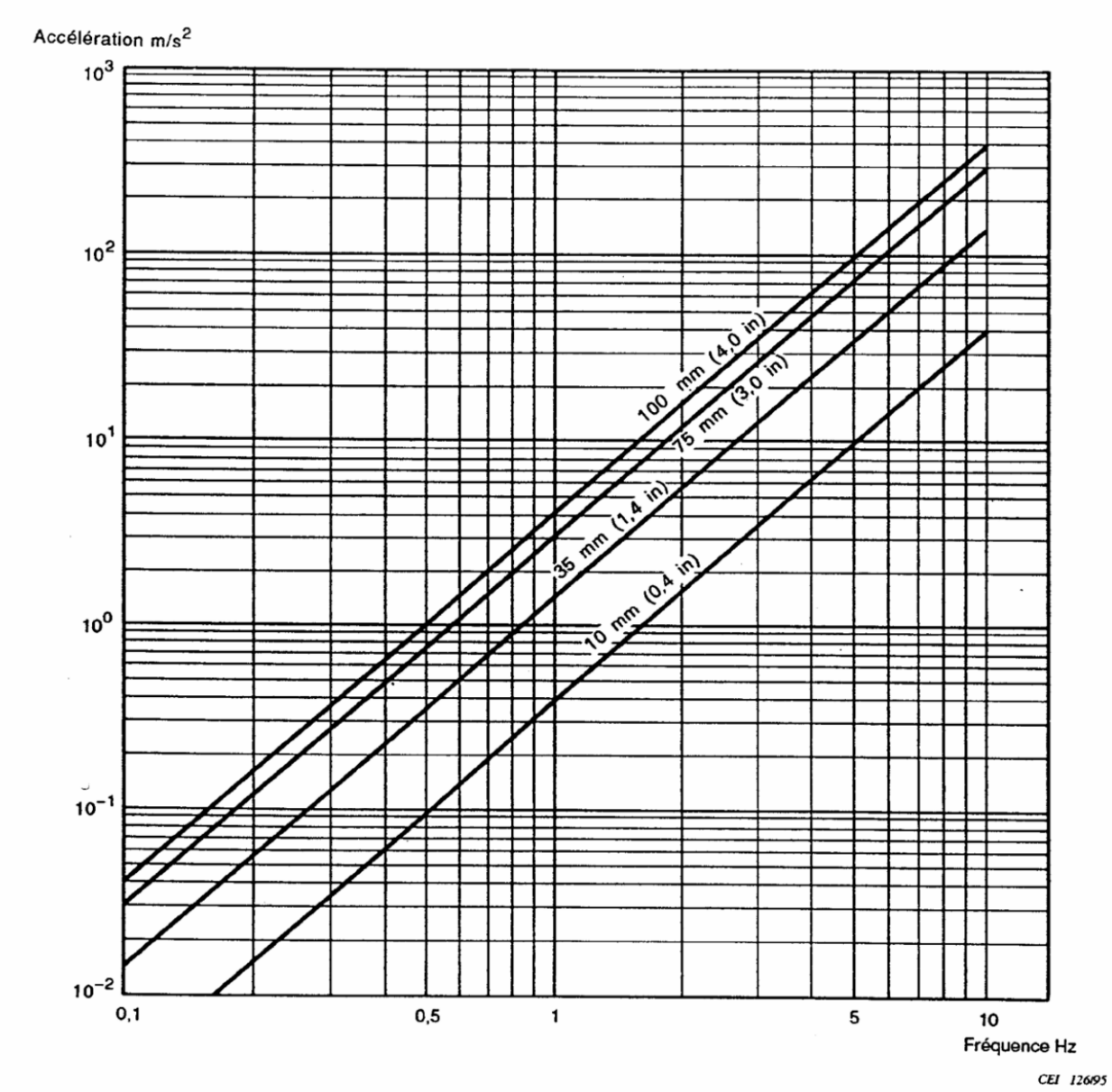
Copyright International Electrotechnical Commission



NOTE Il ne convient pas de considérer cet abaque comme une représentation graphique précise des sévérités.

Figure 2 – Abaque donnant l'amplitude des vibrations en fonction de la fréquence, pour une fréquence de transfert élevée (58 Hz à 62 Hz)

Copyright International Electrotechnical Commission



NOTE Il ne convient pas de considérer cet abaque comme une représentation graphique précise des sévérités.

Figure 3 – Abaque donnant l'amplitude de déplacement des vibrations en fonction de la fréquence (applicable seulement dans les gammes de fréquences ayant une limite supérieure de fréquence de 10 Hz)

5.3 Durée de l'endurance

La spécification particulière doit choisir la ou les durées parmi les valeurs recommandées données ci-après. Si la valeur spécifiée conduit à une durée d'endurance de 10 h ou plus par axe ou par fréquence, on peut subdiviser ce temps en périodes d'essai distinctes, à condition que cela n'entraîne pas une diminution des contraintes appliquées au spécimen (voir l'Article A.1 et A.6.2).

5.3.1 Endurance par balayage

La durée de l'endurance suivant chaque axe doit être donnée en nombre de cycles de balayage (voir 3.4) dans la spécification particulière ou peut être choisie parmi les valeurs suivantes:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.

Copyright International Electrotechnical Commission

Quand un nombre de cycles de balayage plus élevé est requis, il convient d'appliquer la même série (voir A.4.3).

5.3.2 Endurance aux fréquences fixes

5.3.2.1 Endurance aux fréquences critiques

La durée de l'endurance selon chaque axe approprié et à chaque fréquence retenue pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques (voir 8.2) doit être donnée dans la spécification particulière ou peut être choisie parmi les valeurs suivantes, données avec une tolérance de $^{+5}_{0}$ % (voir l'Article A.1 et A.6.2):

10 min; 30 min; 90 min; 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir l'Article A.1.

5.3.2.2 Endurance à des fréquences prédéterminées

La durée prescrite par la spécification particulière doit tenir compte de la durée totale pendant laquelle le spécimen est susceptible d'être soumis à de telles vibrations au cours de sa vie opérationnelle. Pour chaque combinaison de fréquence et d'axe spécifiée, la durée de l'épreuve ne doit pas dépasser 10^7 cycles de la contrainte (voir l'Article A.1 et A.6.2).

6 Préconditionnement

La spécification particulière peut demander un préconditionnement et, dans ce cas, doit le prescrire (voir la CEI 60068-1).

7 Mesures initiales

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles prescrites par la spécification particulière (voir l'Article A.9).

8 Epreuve

8.1 Généralités

La spécification particulière doit spécifier le nombre d'axes dans lesquels le spécimen doit être soumis à des vibrations et leurs positions relatives. Sauf spécification contraire dans la spécification particulière, le spécimen doit être soumis à des vibrations successivement selon trois axes perpendiculaires entre eux. Il convient que ces axes soient choisis de telle manière que les défauts soient très vraisemblablement mis en évidence.

Le signal de pilotage au point de référence doit être déduit à partir des signaux aux points de vérification et doit être utilisé pour le pilotage à partir d'un seul point ou à partir de plusieurs points (voir A.4.5).

La procédure d'essai à appliquer doit être choisie, par la spécification particulière, à partir des étapes données ci-dessous. Des lignes directrices sont données en Annexe A. En général, les étapes d'essai doivent être réalisées dans l'ordre dans le même axe, puis répétées pour les autres axes (voir l'Article A.3).

Des dispositions particulières sont à prendre lorsqu'un spécimen, normalement utilisé avec amortisseurs de vibrations, est essayé sans eux (voir l'Article A.5). Des dispositions particulières sont également à prendre lorsqu'un produit, normalement destiné à être emballé pour le transport, est essayé sans emballage (voir CEI 60068-2-47).

Copyright International Electrotechnical Commission

Si la spécification particulière le prescrit, le contrôle de l'amplitude de vibration spécifiée doit être complété par une limite maximale de la force d'excitation appliquée sur le système vibrant. La méthode de limitation de la force doit être indiquée dans la spécification particulière (voir l'Article A.7).

8.2 Recherche et étude de fréquences critiques

Si la spécification particulière le prescrit, on doit étudier le comportement du spécimen dans la gamme de fréquences spécifiée par un essai de recherche et d'étude des fréquences critiques. Normalement, la recherche et l'étude des fréquences critiques doivent être effectuées durant un cycle de balayage dans les mêmes conditions que pour l'endurance (voir 8.3), mais on peut diminuer l'amplitude de vibration et la vitesse de balayage en dessous de la valeur spécifiée si, ce faisant, on peut obtenir une détermination plus précise des caractéristiques de la réponse. Des arrêts prolongés de balayage et une contrainte excessive du spécimen doivent être évités (voir A.3.1). Pour la recherche et l'étude des fréquences critiques des produits emballés, dans le cas où il n'est pas possible de mettre le produit dans l'emballage, la mesure de la force d'excitation du spécimen peut alors être utilisée pour détecter les fréquences de résonance du produit à l'intérieur de l'emballage. Il ne s'agit pas d'une procédure insignifiante à adopter et il faut trouver un équilibre approprié entre la réalisation de telles mesures ou le fait de ne pas avoir connaissance des fréquences de résonance des spécimens emballés.

Pour la recherche et l'étude des fréquences critiques d'un spécimen ou d'un emballage de « type non défini », il peut être nécessaire de mesurer différents signaux tels que la force d'excitation ou la vitesse des vibrations. Si ceci est spécifié dans la spécification particulière, par exemple, les spectres de l'impédance mécanique du spécimen avant et après l'essai peuvent être calculés.

Si la spécification particulière le prescrit, le spécimen doit fonctionner pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques. S'il n'est pas possible d'évaluer le comportement mécanique du spécimen sous l'effet des vibrations parce qu'il est en fonctionnement, une recherche et une étude supplémentaires des fréquences critiques doivent être effectuées, le spécimen n'étant pas mis en fonctionnement.

Durant la recherche et l'étude des fréquences critiques, le spécimen et les résultats de la réponse doivent être examinés afin de déterminer les fréquences critiques. Ces fréquences, ainsi que les amplitudes appliquées et le comportement du spécimen doivent être notés dans le rapport d'essai (voir l'Article A.1). La spécification particulière doit préciser les mesures à prendre.

Si l'on utilise un pilotage numérique, on doit être très prudent lors de la détermination des fréquences critiques à partir du tracé de la courbe de réponses, en raison des limitations résultant du nombre de points de données choisis par balayage, ou de la capacité de discrimination de l'écran d'affichage du système de pilotage (voir A.3.1).

Dans certains cas, la spécification particulière peut demander de faire une nouvelle recherche et étude des fréquences critiques à l'issue d'une épreuve d'endurance, en vue de comparer les fréquences critiques avant et après l'épreuve. La spécification particulière doit dire ce qu'il faut faire s'il se produit une variation de ces fréquences. Il est essentiel que ces deux recherches et études des fréquences critiques soient exécutées de la même manière et aux mêmes amplitudes de vibration (voir 4.1.5.3 et A.3.1).

8.3 Procédures d'endurance

La spécification particulière doit prescrire, parmi les modalités d'exécution de l'épreuve d'endurance qui suivent, celle qui doit être utilisée.

8.3.1 Endurance par balayage

Cette méthode est préférentielle.

Copyright International Electrotechnical Commission

Un balayage de fréquence doit être exécuté sur toute la gamme de fréquences avec l'amplitude et la durée choisies par la spécification particulière (voir 5.3.1). Si nécessaire, on peut subdiviser la gamme de fréquences, à condition que les contraintes appliquées au spécimen ne s'en trouvent pas diminuées.

8.3.2 Endurance aux fréquences fixes

Les vibrations doivent être appliquées au spécimen:

a) soit aux fréquences découlant de l'étude des fréquences critiques traitées en 8.2, en utilisant l'une des méthodes ci-après:

   1) fréquence fixe,

      – fréquence de résonance centrée.

   La fréquence appliquée doit toujours être maintenue à la fréquence critique réelle.

   2) fréquence quasi fixe,

      – balayage de fréquences restreint.

   Si la fréquence critique réelle n'est pas évidente, par exemple s'il y a des martèlements ou quand on essaie simultanément plusieurs spécimens particuliers, il peut être bon d'exécuter un balayage sur une gamme de fréquences restreinte comprise entre 0,8 et 1,2 fois la fréquence critique, afin d'être sûr d'exciter complètement le phénomène recherché. Ceci peut également s'appliquer quand la résonance n'est pas linéaire (voir l'Article A.1).

b) soit aux fréquences prédéterminées prescrites par la spécification particulière.

L'essai doit être exécuté dans les conditions d'amplitude et de durée prescrites par la spécification particulière (voir A.3.2).

NOTE Dans le cas d'un produit monté soit sur isolateurs de vibrations, soit dans l'emballage, il convient que la spécification particulière précise s'il faut ou non choisir, pour cette épreuve d'endurance, les fréquences de résonance du produit sur ses isolateurs de vibrations ou sur le matériau d'emballage (voir l'Article A.5).

9 Mesures intermédiaires

Lorsque la spécification particulière le demande, le spécimen doit fonctionner pendant l'épreuve et ses performances doivent y être vérifiées pour la proportion spécifiée de la durée totale (voir A.3.2 et l'Article A.8).

10 Reprise

Si la spécification particulière l'exige, il peut être parfois nécessaire de laisser s'écouler un certain temps après l'épreuve d'endurance et avant les mesures finales pour permettre au spécimen de se retrouver dans les mêmes conditions, de température par exemple, que pour les mesures initiales. La spécification particulière doit prescrire les conditions précises de la reprise.

11 Mesures finales

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles prescrites par la spécification particulière.

La spécification particulière doit donner les critères sur lesquels la décision d'acceptation ou de rejet du spécimen doit être fondée (voir l'Article A.9).

Copyright International Electrotechnical Commission

12 Renseignements que doit donner la spécification particulière

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification particulière, les détails suivants doivent y être donnés, dans la mesure où ils sont applicables, en faisant particulièrement attention aux points repérés par un astérisque (*), car ce renseignement doit toujours être donné.

	Articles et/ou paragraphes
a) Choix des points de vérification	3.2.3
b) Choix des points de pilotage*	3.3.2
c) Mouvement axial transversal	4.1.2.1
d) Mouvement rotatif	4.1.2.2
e) Tolérance sur le signal	4.1.3
f) Tolérance sur l'amplitude des vibrations	4.1.4
g) Niveau de confiance	4.1.4
h) Pilotage à partir d'un seul point ou à partir de plusieurs points*	4.1.4.1
i) Fixation	4.3
j) Sévérités, environnement réel, si connu	5
k) Gammes de fréquences*	5.1
l) Amplitude des vibrations*	5.2
m) Fréquences de transfert particulières	5.2
n) Durée de l'endurance*	5.3 et 8.3
o) Préconditionnement	6
p) Mesures initiales*	7
q) Axes de vibration*	8
r) Limitation de la force	8
s) Phases de l'essai à exécuter et leur séquence*	8, 8.2 et 8.3
t) Fonctionnement et contrôles fonctionnels*	8.2 et 9
u) Mesures à prendre après la recherche et l'étude des fréquences critiques*	8.2
v) Mesures à prendre si l'on trouve une variation des fréquences critiques lors de la recherche et de l'étude finales de ces fréquences*	8.2
w) Fréquences prédéterminées	8.3.2
x) Epreuve aux fréquences de résonance du spécimen monté sur ses isolateurs de vibrations	8.3.2
y) Reprise	10
z) Mesures finales*	11
aa) Critères d'acceptation ou de rejet*	11

13 Renseignements que doit fournir le rapport d'essai

Le rapport d'essai doit présenter au moins les informations suivantes:

1	Client	(nom et adresse)
2	Laboratoire d'essai	(nom et adresse)
3	Identification du rapport d'essai	(date de parution, numéro unique)
4	Dates des essais	
5	Type d'essai	(de vibrations sinusoïdales)

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

6	Objet de l'essai	(essai de développement, d'homologation, etc.)
7	Norme d'essai, édition	(procédure d'essai appropriée)
8	Descrption du spécimen d'essai	(numéro d'identification unique, dessin, photo, quantité, etc.)
9	Montage du spécimen d'essai	(numéro d'identification de la fixation, dessin, photo, etc.)
10	Description de l'appareillage d'essai	mouvement transversal, etc.
11	Système de pilotage et de mesure, emplacement capteur	(description, dessin, photo, etc.)
12	Filtres utilisés pour tous les signaux	(types et largeur de bande)
13	Incertitude du système de mesure	(données d'étalonnage, dernière date et prochaine date)
14	Contrôle du pilotage	(pilotage à partir de plusieurs points, référence à partir de plusieurs points ou technique MIN ou MAX)
15	Mesures initiales, intermédiaires ou finales	
16	Sévérités requires	(à partir de la spécification d'essai)
17	Sévérités d'essai avec la documentation	(points de mesure, spectres d'essai)
18	Résultats des essais	(commentaire sur l'état du spécimen d'essai)
19	Observations au cours des essais et actions entreprises	
20	Résumé de l'essai	
21	Gestionnaire de l'essai	(nom et signature)
22	Distribution	(liste des personnes recevant le rapport)

NOTE 1 Il convient qu'une liste de contrôle des essais soit écrite pour les essais, dans laquelle les essais sont documentés, par exemple, au moyen d'une liste chronologique des cycles d'essais avec les paramètres d'essais, les observations émises au cours des essais et les actions entreprises, ainsi que des fiches techniques sur les mesures réalisées. La liste de contrôle des essais peut être fournie avec le rapport d'essai.

NOTE 2 Voir également les exigences énumérées en 5.10 de l'ISO/CEI 17025.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,,,--[-,-,-,,,,-,,-,,,,,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

Annexe A
(informative)

Guide pour l'essai Fc

A.1 Introduction

Cet essai donne une méthode par laquelle on peut reproduire en laboratoire des effets comparables à ceux qui peuvent se produire dans la pratique. Son but fondamental n'est pas nécessairement de reproduire l'environnement réel.

Les paramètres donnés sont normalisés et les tolérances adéquates sont choisies de façon à obtenir des résultats comparables lorsqu'un essai est exécuté à des endroits différents par des personnes différentes utilisant des méthodes de pilotage analogiques ou numériques. La normalisation des valeurs permet aussi de grouper les composants en catégories correspondant à leur aptitude à supporter certaines sévérités de vibration données dans la présente norme.

En matière d'essais de vibrations, les spécifications antérieures ont généralement abordé le problème en prescrivant une recherche de résonances suivie d'un essai d'endurance dans lequel on fait vibrer le spécimen aux fréquences de résonances pendant un temps déterminé. Malheureusement, il est difficile de distinguer, au moyen d'une définition générale, les résonances susceptibles de causer des défaillances en service de celles qui risquent d'être peu gênantes, même quand on fait vibrer le spécimen pendant de longues périodes.

De plus, de telles méthodes d'essai sont souvent irréalistes quand on les applique à la plupart des spécimens modernes. L'observation directe est presque impossible quand il s'agit d'apprécier le comportement en présence de vibrations d'un objet clos quelconque ou d'ensembles miniaturisés modernes. Il est souvent impossible d'utiliser des techniques à base de capteurs de vibrations sans modifier la distribution des masses et des raideurs de l'ensemble. Quand on peut se servir de capteurs, le succès dépend entièrement de l'habileté et de l'expérience de l'ingénieur d'essai qui choisit les endroits appropriés de l'ensemble où seront faites les mesures.

La méthode préconisée ici, c'est-à-dire l'épreuve d'endurance par balayage, permet de réduire ces difficultés au minimum et d'éviter d'avoir à définir ce qu'on entend par résonances significatives ou dangereuses. La recommandation de cette méthode a été influencée par le besoin de spécifier des méthodes d'essai qui soient aussi bien définies que l'état actuel des essais d'environnement le permet, et qui dépendent aussi peu que possible de la dextérité de l'ingénieur d'essai. L'endurance par balayage est déterminée par le nombre de cycles de balayages eux-mêmes déduits du nombre de cycles de contrainte correspondant.

Cette méthode peut, cependant, conduire dans certains cas à des durées d'épreuve dont la longueur est gênante si cette durée a été voulue assez longue pour garantir une durée de vie comparable au temps de service requis, ou une durée de vie illimitée dans des conditions de vibration comparables à celles qui prévaudront en service. C'est pourquoi on a indiqué d'autres méthodes, comme l'épreuve d'endurance à des fréquences fixes, qui peuvent être soit prédéterminées, soit trouvées lors de la recherche et de l'étude des fréquences critiques. Il est prévu que l'épreuve à fréquence fixe est applicable si, pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques, le nombre de ces fréquences dans chaque axe se révèle être peu élevé et ne dépasse pas normalement quatre. Si ce nombre dépasse quatre, l'épreuve d'endurance par balayage peut être plus appropriée.

Il convient que, dans le cas des fréquences quasi fixes, la durée de l'épreuve d'endurance soit établie à partir des valeurs spécifiées pour les fréquences critiques. Toutefois, il convient d'ajouter à la valeur choisie un pourcentage de cette durée fonction de la gamme des fréquences critiques des spécimens (voir 5.3.2.1).

Copyright International Electrotechnical Commission

Il peut être bon de faire une épreuve d'endurance à la fois par balayage et à des fréquences fixes. Il faut se rappeler que l'épreuve à fréquence fixe requiert toujours une part non négligeable d'appréciation technique dans sa mise en œuvre.

De plus, pour toute fréquence prédéterminée, la durée d'endurance doit être indiquée dans la spécification particulière.

Les sévérités pour l'épreuve d'endurance à fréquence fixe sont données en durée dans le cas des fréquences critiques. Cette durée est souvent fondée sur une estimation du nombre de cycles de contraintes. Etant donné la grande variété de matériaux, il est évident que l'on ne peut pas donner un nombre unique réaliste pour le nombre de cycles de la contrainte. Néanmoins, on considère que 10^7 est une limite supérieure assez satisfaisante pour être citée dans un essai général aux vibrations et qu'il n'est pas besoin de la dépasser (voir 5.3.2.1 et 5.3.2.2).

Dans certains cas, lorsqu'il existe un bruit de fond de vibrations de niveau élevé, soit aléatoire, soit de nature complexe, il est possible que l'essai aux vibrations sinusoïdales ne soit pas approprié. En conséquence, on laisse à l'utilisateur le soin de déterminer si l'essai aux vibrations sinusoïdales seul convient pour cette application particulière.

Si l'on sait que l'environnement réel est, pour l'essentiel, une vibration aléatoire, il vaut mieux exécuter la phase d'endurance aux vibrations aléatoires, chaque fois que cela est économiquement possible. C'est particulièrement le cas pour les matériels. Pour certains spécimens du type composant de construction simple, un essai aux vibrations sinusoïdales est habituellement suffisant. Les essais aux vibrations aléatoires font l'objet de la CEI 60068-2-64 pour le pilotage numérique.

A.2 Mesures et pilotage

A.2.1 Points de mesure

Deux types principaux de points de mesure on été définis dans l'Article 3. Il peut cependant parfois être nécessaire, pendant le développement de la procédure d'essai, de mesurer les réponses locales du spécimen afin de s'assurer que les vibrations en ces points ne risquent pas de causer des dommages. Dans certains cas, tels que pendant la phase de conception, il peut même être nécessaire d'incorporer les signaux venant de ces points de mesure dans la boucle de pilotage afin d'éviter au spécimen des dégradations coûteuses. Il faut toutefois noter que cette technique n'est pas recommandée dans cette norme, car elle ne peut être normalisée (voir 3.2).

A.2.2 Erreurs dues à la tolérance sur le signal

Si la tolérance sur le signal est inférieure à 5 %, il n'y a alors pas de différence pratique entre la vibration réelle et le mouvement fondamental.

Si l'on utilise un spécimen de petite taille ou de faible masse avec une grande table vibrante, il convient qu'il n'y ait généralement pas de problèmes de tolérance sur le signal. En effet, lorsque les mesures de tolérance sur le signal sont effectuées, lorsque le système d'essai aux vibrations vient d'être installé, on peut admettre que les mesures d'origine s'appliquent. Cependant, les laboratoires doivent avoir conscience des problèmes engendrés par les spécimens de plus grande taille.

Quand la tolérance sur le signal est élevée, le système de mesure indique un niveau de vibration incorrect puisqu'il contient la fréquence désirée et beaucoup de fréquences parasites. Il en résultera une amplitude plus faible que celle spécifiée à la fréquence requise. Jusqu'à la valeur spécifiée en 4.1.3 pour la tolérance sur le signal, cette erreur peut être admise. Toutefois, au-dessus de cette valeur, il peut être nécessaire de rétablir le niveau à la fréquence fondamentale à son amplitude requise. Il y a plusieurs moyens pour y parvenir, mais

Copyright International Electrotechnical Commission

il est recommandé d'utiliser un filtre de poursuite. Si le niveau de la fréquence fondamentale est rétabli, la contrainte voulue sera appliquée au spécimen à la fréquence requise.

Il peut arriver que, dans ces conditions, le niveau des fréquences parasites augmente lui aussi et il en résultera des contraintes supplémentaires. Si cela conduit à des contraintes exagérément élevées, il peut être préférable de déroger à l'exigence sur le niveau de tolérance sur le signal requis par la spécification particulière (voir 4.1.3).

Pour un système numérique, on peut obtenir d'autres informations sur le signal de pilotage à large bande non filtré en faisant passer le signal dans un analyseur de spectre. On peut alors effectuer une analyse sur la gamme de fréquences spécifiée, et cette analyse révélera la fondamentale, les harmoniques et les autres composantes spectrales dues par exemple aux martèlements et aux chocs.

NOTE La relation entre la distorsion D et la tolérance sur le signal T est donnée par:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

où D et T sont exprimées en pourcentages.

(Lorsqu'une tolérance sur le signal de valeur T = 5 est introduite dans l'équation précédente, une distorsion D = 32 en résultera.)

A.2.3 Provenance du signal de pilotage

On distingue plusieurs méthodes pour obtenir le signal de pilotage.

S'il est spécifié un pilotage à partir de plusieurs points, c'est-à-dire en utilisant la moyenne arithmétique, une méthode consiste à obtenir le signal moyen à partir de tensions continues proportionnelles aux niveaux d'accélération de crête en chaque point de vérification.

Si l'on utilise le multiplexage temporel (voir le terme 721-04-11:1991 dans la CEI 60050(721)) pour établir une scrutation périodique de chaque point de vérification, il convient que la fréquence de scrutation de chaque point ne soit pas supérieure à la fréquence d'excitation, de façon à être sûr de prendre en compte au moins une période de chaque signal. Par exemple, si l'on utilise quatre capteurs, à 100 Hz, il convient que la période d'interrogation de chaque point de vérification ne soit pas inférieure à 0,01 s. Il peut néanmoins y avoir des difficultés lorsqu'un tel système est utilisé avec un filtre de poursuite et, dans ce cas, il faut prendre des précautions appropriées.

Le système à échantillonnage peut aussi causer des difficultés quand l'essai doit être piloté à une amplitude de déplacement constante, puisque le signal de l'accélération, après une double intégration, ne sera pas proportionnel à l'amplitude de déplacement à cause de la tolérance sur le signal créée par les différences de phase entre les signaux échantillonnés (voir 3.3.2).

Il importe que l'ensemble du système d'essai aux vibrations ait un niveau de bruit résiduel faible, de façon que la plupart des tolérances données (voir 4.1.4.1) soient disponibles au cours de l'essai. Normalement, 0,6 m/s^2 est un niveau de bruit acceptable pour les moyens d'excitation.

A.2.4 Mouvement de rotation (voir 4.1.2.2)

Les spécimens de grande taille ou de masse élevée peuvent réagir à l'excitation sinusoïdale par des moments de basculement provoqués soit par l'excentricité de la force d'inertie de la masse rigide par rapport à l'axe de guidage de la table vibrante, soit par la répartition des forces d'inertie des formes modales correspondant aux fréquences de résonance. Ces moments de basculement peuvent induire des mouvements de rotation autour des axes situés dans tout plan orthogonal à la direction du mouvement fondamental, et peuvent donc provoquer des contraintes supplémentaires dans le spécimen. Ceci pourrait créer des contraintes

Copyright International Electrotechnical Commission

inutilement élevées. Il peut donc être approprié de réduire les mouvements de rotation ou connaître au moins leur grandeur. Les fréquences de résonance et les formes modales spécifiques au spécimen n'étant pas normalement connues avant l'essai, il est difficile de formuler des hypothèses générales concernant ces paramètres.

On peut obtenir certains critères utiles en considérant la masse du spécimen (m), la masse des parties mobiles de la table vibrante (m_t), la distance (d) entre le centre de gravité du spécimen et l'axe de guidage de la table vibrante et la hauteur (h) du centre de gravité du spécimen par rapport à l'axe de guidage horizontal de la table vibrante.

Pour les spécimens théoriquement rigides, le moment maximal de basculement prévu (M_o) peut être calculé de la façon suivante en présence d'une accélération d'excitation maximale A:

– masse rigide avec excentricité: $M_o = m \times d \times A$;
– masse rigide avec centre de gravité élevé excité horizontalement: $M_o = m \times h \times A$.

Pour les spécimens ayant une résonance dans la gamme de fréquences spécifiée, les mêmes formules que ci-dessus sont toujours valables, mais m représente la masse modale et A l'accélération de réponse maximale prévue. Dans les cas ci-dessus, il est important d'utiliser un système de grandeurs adaptées.

Les moyens d'essai électrodynamique et servo-hydraulique comportent tous deux des limitations pour le moment de basculement maximal. Pour tous les types d'installations comportant un générateur de vibrations unique, il existe un moment de basculement maximal autorisé spécifié en principe par le fabricant du matériel, afin d'éviter de détériorer le générateur de vibrations.

Dans tous les cas où il y a plusieurs générateurs de vibrations, la table vibrante possède une limite maximale afin de contrebalancer les moments de basculement et, si l'on dépasse cette limite, la table vibrante engendre des mouvements de rotation (tangage ou roulis).

On peut appliquer les critères suivants.

Lorsque le rapport m/m_t est inférieur à 0,2, il n'est pas nécessaire de faire des vérifications; dans le cas contraire, les vérifications suivantes peuvent être appropriées.

Lorsque le matériel d'essai comporte un seul générateur de vibrations (avec ou sans table hydrostatique), et pour tout matériel à guidage mécanique, le moment de basculement est contrebalancé par les organes élastiques ou les coussinets. Il est alors nécessaire de mesurer le mouvement de rotation seulement lorsque le moment de basculement du spécimen dépasse 50 % du moment maximal de basculement autorisé par le moyen d'essai.

Pour les installations comportant plusieurs générateurs de vibrations et pour les moyens d'essai à plusieurs degrés de liberté, le moment de basculement est contrebalancé par les générateurs de vibrations qui sont régulés par le système de pilotage. Il n'est donc nécessaire de mesurer le mouvement de rotation seulement lorsque le moment de basculement du spécimen est supérieur au moment de basculement maximal du matériel d'essai.

A.3 Exécution de l'essai

A.3.1 Recherche et étude des fréquences critiques (voir 8.2)

La recherche et l'étude des fréquences critiques sont de la plus grande importance dans de nombreuses applications, particulièrement lorsqu'on sait que le spécimen sera soumis à des vibrations périodiques importantes que l'on rencontre dans les navires, les avions et les machines tournantes. On utilise aussi cette technique quand on estime important d'étudier le comportement dynamique du spécimen. Cela peut également convenir aux spécimens pour lesquels la fatigue doit être étudiée.

Copyright International Electrotechnical Commission

Il convient de considérer avec attention l'amplitude utilisée durant la recherche et l'étude des fréquences critiques, en particulier en ce qui concerne la linéarité du comportement dynamique du spécimen, et aussi parce qu'un mauvais fonctionnement et des martèlements ne peuvent se produire qu'au niveau de l'essai.

On peut utiliser une recherche et une étude des fréquences critiques avant et après l'épreuve d'endurance pour identifier les variations de la fréquence à laquelle une résonance ou une autre réponse se produit. Une variation de fréquence peut indiquer qu'il s'est produit une fatigue ou toute autre dégradation, et il convient qu'elle soit évaluée, dans la mesure où cette variation de fréquence peut entraîner une inaptitude du spécimen à fonctionner dans l'environnement rencontré en utilisation ou lors du transport.

En prescrivant une recherche et une étude des fréquences critiques, il convient que la spécification particulière indique clairement, si nécessaire, ce qu'il faut faire au cours et à l'issue de l'essai dans un certain nombre de cas, par exemple:

– dans le cas de valeurs particulières du coefficient d'amplification qui, si elles sont dépassées, peuvent conduire à faire une épreuve d'endurance par balayage;
– les variations de fréquence;
– les niveaux de réponse qui ne sont pas acceptables;
– le bruit d'origine électrique.

Il importe que toute disposition prise pour déceler les effets sur les parties internes pendant la recherche et l'étude des fréquences critiques ne change pas de manière appréciable le comportement dynamique du spécimen pris dans son ensemble. Il convient aussi de se rappeler que, dans le cas des résonances non linéaires, un spécimen peut répondre différemment suivant le sens de variation de la fréquence pendant le balayage. Il convient que les fréquences critiques soient déterminées sur les parties ascendantes et descendantes du cycle de balayage, puisque le spécimen peut s'être structurellement fixé (stabilisé) pendant la partie ascendante du balayage.

Le point de départ du balayage peut se situer à f_2 au lieu de f_1, si l'on suspecte la présence d'une non-linéarité de type dur ou mou. Dans ce cas, la détermination des fréquences critiques sera différente pour les parties ascendantes et descendantes du balayage.

Lorsqu'on utilise un pilotage numérique, il importe de choisir des points d'acquisition suffisamment nombreux, choisis entre f_1 et f_2, afin de décrire correctement chaque crête de résonance du spécimen et donc, chacune de ses fréquences critiques. Des points de renseignements en nombre insuffisant peuvent entraîner une détermination imprécise des fréquences critiques, en particulier dans la gamme de fréquences basses, lorsque les spécimens ont un taux d'amortissement faible. Normalement, on considère que l'on a obtenu un nombre d'acquisitions suffisant lorsqu'il y a au moins trois points d'acquisition (cinq si possible) dans la bande passante à –3 dB de la résonance associée. Cependant, l'étude et la recherche des fréquences critiques seront répétées si les données obtenues pendant l'étude initiale sont insuffisantes, mais qu'il y a une grande présomption d'existence d'une résonance. Dans de telles circonstances, il peut aussi se révéler nécessaire de balayer une gamme de fréquences réduite.

D'autres erreurs dans la détermination des fréquences critiques peuvent provenir du choix d'une méthode de représentation graphique des données, car certains systèmes peuvent avoir une capacité limitée d'affichage précis des données. C'est pourquoi il peut être nécessaire d'agrandir l'échelle du graphique autour de chaque fréquence critique pour surmonter cette difficulté.

Lorsque la spécification particulière prescrit une recherche et une étude des fréquences critiques, il est extrêmement important de pouvoir disposer des isolateurs de vibrations utilisés. S'ils sont disponibles, on fera souvent une première étude en bloquant ou en enlevant les isolateurs de vibrations, afin de déterminer les fréquences critiques du spécimen.

Copyright International Electrotechnical Commission

On peut alors procéder à une deuxième étude dans laquelle la recherche des fréquences critiques est répétée avec les isolateurs de vibrations en place et débloqués, de telle sorte que les effets qu'ils ont sur le spécimen puissent être déterminés.

Dans la première étude, en raison du fait que les isolateurs de vibrations ne sont soit pas présents soit pas actifs, leurs caractéristiques de transmissibilité nécessitent d'être déterminées à partir de la Figure A.1, et différentes amplitudes de vibration nécessitent d'être utilisées afin de tenir compte de ces caractéristiques.

Si les isolateurs de vibrations ne sont pas disponibles, voir A.5.1.

A.3.2 Endurance (voir 8.3)

L'endurance par balayage est en principe la méthode la plus appropriée pour simuler les effets des contraintes subies par des spécimens pendant leur utilisation (voir 8.3.1).

L'endurance à fréquence fixe convient à une gamme limitée de conditions de fonctionnement de matériels dont l'emplacement d'utilisation est sous l'influence de machines ou dont l'installation est limitée à un seul ou à un petit nombre de véhicules ou d'avions. Dans ce cas, les fréquences dominantes sont souvent connues ou peuvent être prévues. Cette méthode peut aussi convenir pour l'accumulation rapide des cycles de contrainte, afin de montrer les effets de la fatigue, tels que ceux qui découlent d'une excitation due à l'environnement créé par le transport (voir 8.3.2).

Dans certains cas, il peut aussi être important de considérer les aspects possibles de la fatigue à certaines fréquences discrètes tout autant que de prouver l'aptitude du spécimen à supporter des vibrations. Dans ces conditions, il est bon de faire des épreuves d'endurance à fréquence fixe suivies d'une épreuve d'endurance par balayage. Ceci permet de disposer des renseignements requis dans le plus bref délai possible.

Dans le cas de composants de petite taille où l'on pense qu'il n'y a pas de résonance en dessous de 55 Hz ou 100 Hz, il suffit de commencer l'épreuve d'endurance à ces fréquences.

Pour l'essai d'endurance, un matériel normalement monté sur isolateurs de vibrations est habituellement essayé avec ceux-ci en place. S'il n'est guère possible de le faire avec les isolateurs de vibrations appropriés, par exemple si le matériel doit être installé en même temps que d'autres dans un bâti de montage commun, l'essai pourra être fait sans isolateurs de vibrations, mais à une sévérité différente que doit préciser la spécification particulière. Il convient que cette amplitude soit déterminée en tenant compte de la transmissibilité du système d'isolateurs de vibrations selon chaque axe requis pour l'essai. Quand on ne connaît pas les caractéristiques des isolateurs de vibrations, voir A.5.1.

La spécification particulière peut prescrire un essai supplémentaire sur un spécimen dont les isolateurs de vibrations extérieurs ont été enlevés ou bloqués, de façon à démontrer qu'un minimum acceptable de résistance de la structure a été atteint. Dans ce cas, il convient que la spécification particulière indique la sévérité à appliquer.

Dans le cas d'un produit qui devrait en principe être soumis aux essais dans son emballage, afin de reproduire la partie transport de son cycle de vie, mais dans lequel l'emballage n'est pas disponible, se reporter à la CEI 60068-2-47.

A.4 Sévérités d'essai (voir l'Article 5)

A.4.1 Sélection des sévérités d'essai

Les fréquences et les amplitudes données ont été choisies de manière à couvrir les réponses en fréquence correspondant à une large gamme d'utilisation. Quand un matériel n'est destiné qu'à une seule application, il vaut mieux fonder la sévérité sur les caractéristiques vibratoires

Copyright International Electrotechnical Commission

de l'environnement réel, si on les connaît. Quand les conditions de vibration de l'environnement réel ne sont pas connues pour un matériel, il convient de choisir la sévérité appropriée parmi celles de l'Annexe C, qui donne des exemples de sévérités d'essai pour diverses applications.

Lors de la détermination des sévérités d'essai, il convient que le rédacteur de spécification prenne en compte les informations données dans la CEI 60721-3 (voir l'Article 5).

Comme la valeur de l'amplitude de déplacement est associée à une valeur correspondante d'amplitude d'accélération, de telle sorte que le niveau de vibration soit le même à la fréquence de transfert, on peut balayer constamment la gamme de fréquences en passant du déplacement constant à l'accélération constante, ou vice versa à la fréquence de transfert. Des fréquences de transfert comprises entre 8 Hz et 10 Hz et entre 58 Hz et 62 Hz sont données.

Des fréquences de transfert autres que ces fréquences normalisées peuvent être requises lorsqu'on désire simuler l'environnement réel, si on le connaît. S'il en résulte une fréquence de transfert élevée, il faut tenir compte des possibilités du générateur de vibrations. Il est important que l'amplitude de déplacement choisie ne corresponde pas à une amplitude d'accélération qui, dans la zone des basses fréquences, soit comparable au niveau de bruit résiduel du générateur de vibrations. Le cas échéant, on peut surmonter cette difficulté, soit en utilisant un filtre de poursuite soit, si l'essai a été conduit dans sa totalité à des basses fréquences, en utilisant un capteur de déplacement dans la boucle de commande (voir 5.2).

A.4.2 Sélection des sévérités d'essai pour les composants

La sélection des sévérités d'essai pour les composants est compliquée par le fait que, dans bien des cas, on ne sait pas dans quel matériel ils seront montés, ni à quelles contraintes ils seront soumis. Même quand on sait que les composants sont destinés à des matériels déterminés, il convient de se rappeler que l'environnement vibratoire auquel le composant sera soumis peut être différent de celui que subira le matériel, à cause de la réponse dynamique du bâti, du matériel, des sous-ensembles, etc. Il est donc recommandé de faire attention en choisissant des sévérités d'essai pour les composants par rapport aux sévérités pour les matériels, et il peut être bon de prévoir une certaine marge pour tenir compte de ces réponses.

Quand les composants sont montés dans un matériel de façon telle qu'ils soient protégés des vibrations, les sévérités applicables au matériel, ou éventuellement une sévérité inférieure, peuvent convenir.

Une autre manière de choisir les sévérités d'essai d'un composant est de l'essayer et de le classer selon des sévérités d'essai données, de sorte que les concepteurs de matériels puissent choisir les composants convenant à leur application.

Il convient aussi de faire référence à l'Annexe B, qui donne des exemples de sévérités en fonction de diverses applications.

Copyright International Electrotechnical Commission

A.4.3 Balayage

Pendant le balayage, la fréquence doit varier exponentiellement en fonction du temps, de telle sorte que:

$$\frac{f}{f_1} = \mathrm{e}^{kt}$$

où

f est la fréquence;

f_1 est la limite inférieure de la fréquence du balayage;

k est un facteur dépendant de la vitesse de balayage;

t est le temps.

Pour cet essai, la vitesse de balayage est de une octave par minute (voir 4.1.6), donc $k = \log_e 2 = 0{,}693$, si le temps est exprimé en minutes.

Le nombre d'octaves pour un cycle de balayage est donné par:

$$X = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1}\right) = 6{,}644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1}\right)$$

où

X est le nombre d'octaves;

f_1 est la limite inférieure de la fréquence du balayage;

f_2 est la limite supérieure de la fréquence du balayage.

Le Tableau A.1 contient des valeurs obtenues à partir de la formule ci-dessus et donne des valeurs arrondies des durées associées aux nombres de cycles de balayage et aux gammes de fréquences recommandées (voir 5.3.1).

Pour un système numérique, l'onde de sortie sinusoïdale peut être produite, soit par un synthétiseur analogique externe, soit intérieurement, par une matrice de données numériques contenant une partie de signal sinusoïdal.

Dans le premier cas, on génère une onde sinusoïdale continue pure; il n'y a pas de différence entre les systèmes analogique et numérique.

Dans le second cas, le jeu de données numérique génère à travers le convertisseur analogique/numérique un signal analogique non lissé composé d'un certain nombre de petits pas. Un filtre de lissage est nécessaire afin de lisser ces valeurs discrètes et produire une forme essentiellement sinusoïdale et pure. Il est également important de s'assurer que les données de la matrice s'enchaînent de façon à produire une forme sinusoïdale lisse.

Copyright International Electrotechnical Commission

Tableau A.1 – Nombre de cycles de balayage et durées d'endurance associées par axe

Gamme de fréquences Hz	Nombre de cycles de balayage						
	1	**2**	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**
1 à 35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
1 à 100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
5 à 100	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h
5 à 200	11 min	20 min	55 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h
5 à 500	13 min	25 min	1 h 0 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
5 à 2 000	17 min	33 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 à 55	5 min	10 min	25 min	45 min	1 h 45 min	4 h	8 h
10 à 150	8 min	16 min	40 min	1 h 15 min	2 h 30 min	7 h	13 h
10 à 500	11 min	23 min	55 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
10 à 2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	2 h 30 min	5 h	13 h	25 h
10 à 5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55 à 500	6 min	13 min	30 min	1 h	2 h	5 h	11 h
55 à 2 000	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	17 h
55 à 5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100 à 2 000	9 min	17 min	45 min	1 h 30 min	3 h	7 h	14 h

NOTE 1 Les durées d'endurance données dans le tableau ont été calculées pour une vitesse de balayage d'une octave par minute et sont arrondies par excès ou par défaut. L'erreur provoquée par ceci ne dépasse en aucun cas 10 %.

NOTE 2 Les chiffres soulignés sont issus des Annexes B et C.

Une évaluation du nombre de cycles de contrainte (N), du nombre d'octaves (X) et de la durée (T) pour un cycle de balayage ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) peut être obtenue de la façon suivante:

$$N = \frac{\left(f_2 - f_1\right) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (cycles de contrainte)}$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2} \text{ (octaves)}$$

$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (minutes)}$$

où

f_2 est la limite supérieure de la fréquence du balayage;

f_1 est la limite inférieure de la fréquence du balayage;

SR est la vitesse de balayage (en anglais *sweep rate*) en octaves/minute.

Cette méthode d'évaluation du nombre de cycles de contraintes est aussi valable pour les Tableaux B.1, C.1 et C.2.

Copyright International Electrotechnical Commission

A.4.4 Filtres de poursuite

A.4.4.1 Filtres analogiques

Ces filtres peuvent être d'une largeur de bande passante constante ou à largeur de bande passante constante en pourcentage. Dans chaque cas, le temps de réponse (T_r) est donné par:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

où

T_r est en secondes;

BW est la largeur de bande (en anglais *bandwidth*) en hertz (Hz).

Par exemple:

pour un type de filtre à largeur de bande passante constante, réglé sur une largeur de bande de 10 Hz:

$T_r = \frac{1}{10}$ = 100 ms et est constant sur l'ensemble de la gamme d'accord;

pour un type de filtre à largeur de bande passante constante en pourcentage, réglé sur 10 % à la fréquence d'accord f:

$BW = 0{,}1\ f$;

$T_r = \frac{1}{BW}$ = 10 périodes à la fréquence d'accord.

Lorsqu'on utilise des filtres de poursuite dans une boucle de pilotage, le temps de réponse est très important. Un temps de réponse long peut ralentir la réponse de pilotage globale et peut provoquer une instabilité, voire une perte de pilotage. De plus, le temps de réponse peut limiter la vitesse de balayage dans les essais de balayage de vibrations sinusoïdales, en particulier aux basses fréquences pour les filtres de type à largeur de bande passante constante en pourcentage, où T_r peut atteindre des dizaines de secondes (voir 4.1.3).

C'est pourquoi un compromis est obtenu pour de nombreux filtres de poursuite grâce à une bande passante à largeur constante qui peut prendre plusieurs valeurs automatiquement fixées par la fréquence d'accord, soit par l'utilisation de filtres à bande passante à largeur constante jusqu'à une fréquence de coupure donnée et, au-delà, par l'utilisation de filtres à bande passante constante en pourcentage.

En règle générale, il est recommandé que le filtre de poursuite ait une vitesse de réponse cinq fois plus grande que la vitesse de compression du système de pilotage, afin d'empêcher une interaction mutuelle et de maîtriser l'instabilité. Il est nécessaire que la largeur de bande du filtre soit toujours inférieure à la fréquence d'accord de fonctionnement.

Pour les temps de réponse, voir les Tableaux A.2 et A.3.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,,,--`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission

Tableau A.2 – Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante

Largeur de bande Hz	Temps s
0,1	10
0,5	2
1	1
5	0,2
10	0,1

Tableau A.3 – Temps de réponse pour une largeur de bande passante constante en pourcentage

Fréquence Hz	Largeur de bande %		
	1	5	10
	Temps s	Temps s	Temps s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0,4	0,2
100	1	0,2	0,1
500	0,2	0,04	0,02
1 000	0,1	0,02	0,01
2 000	0,05	0,01	0,005

A.4.4.2 Filtres numériques

Les systèmes numériques utilisent une technique d'algorithme numérique pour reproduire un filtre de poursuite analogique équivalent. Le résultat final ne diffère pas dans l'extraction du signal fondamental mais, dans le cas d'un pilotage numérique, ce résultat peut être obtenu au prix d'une augmentation du temps de réponse de la boucle. Ceci peut influer sur la précision du pilotage aux fréquences élevées.

A.4.5 Mesure du signal de pilotage

Les systèmes numériques utilisent un filtre anti-repliement avant de numériser les signaux. Ce filtre, qui a pour objet de rejeter les composantes hautes fréquences, est progressivement déplacé pas à pas en suivant la gamme de fréquences au fur et à mesure de la progression du balayage de fréquences. En conséquence, le signal vu par un système numérique peut alors avoir une valeur efficace plus faible, ce qui peut conduire à ce que le système numérique pilote l'essai à un niveau plus élevé par rapport à un système de pilotage analogique équivalent. Aussi bien dans le cas d'un système de pilotage numérique que dans celui d'un système de pilotage analogique, l'usage d'un filtre de poursuite résoudra ce problème.

A.5 Matériels normalement utilisés avec isolateurs de vibrations

A.5.1 Facteurs de transmissibilité pour les isolateurs de vibrations

Quand un spécimen doit être normalement monté sur des isolateurs de vibrations, mais que ceux-ci ne sont pas disponibles et que l'on ne connaît pas leurs caractéristiques et que, de plus, la spécification particulière n'a pas prévu cette situation, il faut modifier le niveau spécifié de façon à appliquer au spécimen une vibration plus proche de la réalité. Il est recommandé

Copyright International Electrotechnical Commission

que ce nouveau niveau soit déterminé en utilisant les valeurs données par les courbes de la Figure A.1 décrites ci-après:

a) la courbe A se rapporte à un type d'isolateurs de vibrations à haute résilience, sous charge, et dont la fréquence propre, pour un seul degré de liberté, ne dépasse pas 10 Hz;
b) la courbe B se rapporte à un type d'isolateurs de vibrations de résilience moyenne, sous charge, et dont la fréquence propre, comme ci-dessus, se situe entre 10 Hz et 20 Hz;
c) la courbe C se rapporte à un type d'isolateurs de vibrations de faible résilience, sous charge, et dont la fréquence propre, comme ci-dessus, se situe entre 20 Hz et 35 Hz.

La courbe B est déduite de mesures de vibrations faites sur un équipement typique d'avion placé sur un bâti entièrement métallique, fortement amorti et ayant une fréquence propre d'environ 15 Hz pour un seul degré de liberté.

Très peu d'informations étaient disponibles pour les isolateurs de vibrations représentés par les courbes A et C. Elles ont été déduites de la courbe B par extrapolation, en prenant respectivement des fréquences propres de 8 Hz et 25 Hz.

On estime que ces courbes de transmissibilité constituent l'enveloppe des caractéristiques de transmissibilité qui ont des chances d'exister dans une installation à modes couplés. C'est pourquoi le fait d'utiliser ces courbes permet de tenir compte des niveaux de vibration apparaissant à la périphérie du spécimen sous l'effet combiné des mouvements de translation et de rotation.

Il convient de choisir sur la Figure A.1 la courbe de transmissibilité la mieux adaptée et de multiplier les niveaux de vibrations spécifiés par les valeurs tirées de cette courbe pour la gamme de fréquences requise. Le produit des valeurs prises sur ces deux courbes peut conduire à des niveaux qui peuvent ne pas être reproductibles en laboratoire. Dans ce cas, il convient que l'ingénieur d'essai ajuste ces niveaux, de telle sorte qu'ils soient reproduits le mieux possible, à tout moment et sur toute la gamme de fréquences. Il est de la plus grande importance que les valeurs effectivement utilisées soient mentionnées dans le rapport d'essai.

Les vibrations, au cours de la phase de transport, seront souvent les plus fortes rencontrées par un produit, en particulier s'il est destiné à être utilisé dans un environnement inoffensif, par exemple dans une salle informatique. L'essai d'un tel produit devrait en principe se faire avec son emballage de transport, s'il est disponible. Il y aura toutefois des cas où l'emballage ne sera pas disponible, mais où les essais seront tout de même nécessaires. Ce sujet est traité en détail dans la CEI 60068-2-47.

Copyright International Electrotechnical Commission

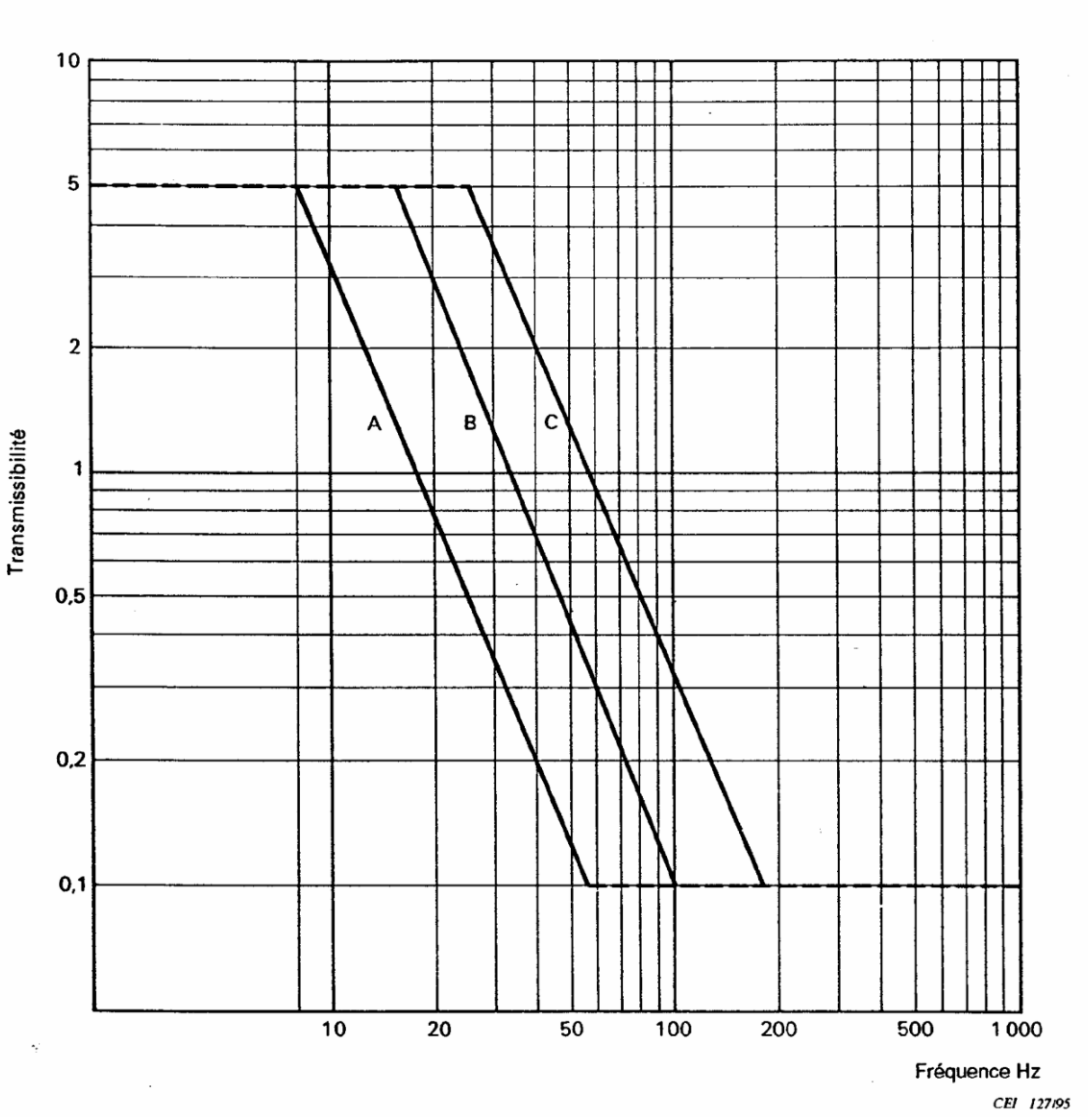


Figure A.1 – Facteurs de transmissibilité généralisée pour isolateurs de vibrations

A.5.2 Effet de la température

Il importe de noter que beaucoup d'isolateurs de vibrations contiennent des matériaux dont les caractéristiques dépendent de la température. Ceci peut également s'appliquer au matériau de l'emballage.

Si la fréquence de résonance fondamentale du produit sur ces isolateurs de vibrations ou à l'intérieur de l'emballage se situe à l'intérieur de la gamme de fréquences de l'essai, il faudra faire attention quand on décidera de la durée pendant laquelle il convient d'effectuer l'épreuve d'endurance.

Dans certains cas cependant, il peut être déraisonnable d'appliquer au spécimen une excitation continue sans lui accorder quelque répit. Si l'on sait comment se répartit effectivement dans le temps l'excitation de cette fréquence de résonance fondamentale, il convient de tenter de la reproduire. Si l'on ignore cette répartition dans le temps, il est alors recommandé d'éviter les surchauffes exagérées en limitant les périodes d'excitation d'une manière qui fasse appel au bon sens technique de l'expérimentateur, compte tenu de 5.3.

Copyright International Electrotechnical Commission

A.6 Durée

A.6.1 Concept de base (voir 5.3.1)

De nombreuses spécifications existantes définissent par sa durée la phase d'endurance par balayage d'un essai de vibrations. Ceci rend presque impossible la comparaison des comportements respectifs de deux spécimens résonnants si les gammes de fréquences sont différentes, car le nombre de fois où les résonances seront excitées sera différent. Par exemple, on considère souvent que, pour une valeur d'accélération et une durée données, l'essai est plus sévère avec une gamme de fréquences large qu'avec une gamme étroite; en fait, c'est le contraire qui est vrai. Le concept du nombre de cycles de balayage en tant que paramètre d'endurance résout ce problème, puisque la résonance sera excitée le même nombre de fois, quelle que soit la gamme de fréquences.

A.6.2 Essai

Lorsque l'essai a simplement pour but de démontrer l'aptitude du spécimen à supporter des vibrations d'amplitude appropriée ou à pouvoir fonctionner en leur présence, il suffit que l'essai dure assez longtemps pour en faire la démonstration dans la gamme de fréquences spécifiée. Dans le cas où doit être démontrée l'aptitude d'un spécimen à supporter les effets cumulés des vibrations, comme la fatigue et les déformations mécaniques, il convient que l'essai dure assez longtemps pour atteindre le nombre de cycles de contraintes nécessaire. Pour faire la preuve d'une durée de vie illimitée, on considère généralement comme suffisant le nombre de 10^7 cycles de contrainte.

A.7 Réponse dynamique

Les principales causes de dommages résident dans les contraintes dynamiques qui se produisent à l'intérieur du spécimen. L'exemple classique est la contrainte produite dans un simple système ressort et masse, lorsque ce système est fixé sur un corps vibrant dont l'inertie est grande par rapport à celle de la masse. A la fréquence de résonance, l'ensemble ressort et masse répond par une augmentation de l'amplitude du mouvement, entraînant une augmentation de la contrainte exercée sur le ressort. L'exécution d'un essai d'endurance à une telle fréquence de résonance requiert beaucoup de bon sens technique. La principale difficulté consiste à déterminer les résonances significatives. Un autre problème est le maintien de la fréquence d'excitation sur la résonance.

En particulier vers les hautes fréquences, les résonances peuvent ne pas être très apparentes, bien que des niveaux de contrainte élevés puissent apparaître par endroits. Bien que certaines spécifications essaient de définir la sévérité d'une résonance par une valeur arbitraire du coefficient d'amplification, cette méthode n'a pas été retenue pour cet essai.

Les modalités d'exécution comprises dans cet essai impliquent que l'amplitude des vibrations (déplacement ou accélération) soit gardée à une valeur prescrite en dépit des réactions dynamiques du spécimen. Cela est en accord avec les règles de l'art actuelles en matière d'essais de vibrations généraux susceptibles d'être normalisés.

Il est bien connu que, quand un spécimen est excité sur sa fréquence de résonance, sa masse apparente peut être grande par rapport à celle de son support normal. Dans un tel cas, la réaction du spécimen peut être considérable. La force d'excitation et l'impédance mécanique du support sont normalement inconnues et il est le plus souvent extrêmement difficile de faire des suppositions d'ordre général en ce qui concerne ces paramètres.

Le pilotage par la force est prévu comme un moyen de diminuer l'importance des problèmes ci-dessus, mais il n'est pas inclus dans cet essai, car il n'est pas possible d'en préciser actuellement les modalités d'exécution, les mesures et les tolérances. Quand la spécification particulière requiert ce type d'essai, on peut soit se servir de capteurs de force, soit se contenter d'une mesure du courant d'excitation. Cette dernière technique présente certains inconvénients, car le courant peut ne pas être proportionnel à la force dans certaines parties

Copyright International Electrotechnical Commission

de la gamme de fréquences spécifiée pour l'essai. Néanmoins, avec un certain bon sens technique, on peut se servir de la méthode utilisant la mesure du courant, notamment quand il ne s'agit que d'une gamme de fréquences limitée.

Donc, bien qu'un essai piloté par la force puisse sembler intéressant, il faut faire bien attention en l'utilisant. Il n'est pas douteux que, dans certains cas, par exemple pour les composants, l'essai piloté par l'amplitude est presque toujours mieux adapté (voir l'Article 8).

A.8 Estimation du fonctionnement

Quand cela est possible, il est recommandé de faire fonctionner les spécimens, soit pendant tout l'essai, soit à des moments appropriés au cours de l'essai et ce, d'une manière qui soit représentative des conditions de fonctionnement. Il est recommandé de vérifier le bon fonctionnement du spécimen à des intervalles appropriés pendant la phase d'endurance et vers la fin de celle-ci.

Si les vibrations peuvent influer sur la fonction «marche-arrêt» des spécimens (par exemple en interférant avec la commande d'un relais), il convient que cette fonction soit répétée afin de montrer que le fonctionnement est satisfaisant de ce point de vue, soit dans toute la gamme de fréquences de l'essai, soit aux fréquences susceptibles de causer des interférences.

Si l'essai a pour seul but de démontrer que les spécimens n'ont pas été détruits, il convient que le fonctionnement de ces derniers soit vérifié après la fin de l'épreuve d'endurance aux vibrations (voir 8.3 et l'Article 11).

A.9 Mesures initiales et finales

Le but des mesures initiales et finales est de comparer entre eux certains paramètres pour apprécier l'effet des vibrations sur le spécimen.

Au même titre que les examens visuels, les mesures peuvent comprendre des vérifications de caractéristiques de fonctionnement électriques et mécaniques, et des caractéristiques de structure (voir les Articles 7 et 11).

Copyright International Electrotechnical Commission

Annexe B
(informative)

Exemples de sévérités destinées principalement aux composants

Le nombre de sévérités possibles permis par l'Article 5 est très élevé. Pour simplifier l'utilisation de la présente norme, des exemples de sévérités destinées principalement aux composants ont été choisis en prenant pour base les paramètres recommandés pour l'endurance, fixés dans l'Article 5 et qui sont donnés dans le Tableau B.1. Les conditions d'essai sont celles que prescrit la présente norme.

Tableau B.1 – Endurance par balayage – Exemples avec une fréquence de transfert élevée

	Nombre de cycles de balayages suivant chaque axe			Exemples d'application
Amplitude [1] **Gamme de fréquences** Hz	**0,35 mm ou 50 m/s²**	**0,75 mm ou 100 m/s²**	**1,5 mm ou 200 m/s²**	
10 à 55	10	10		Grandes centrales industrielles, grosses machines tournantes, laminoirs, grands navires de commerce ou de guerre
10 à 500	10	10		Usage général à terre, transport terrestre, embarcations rapides (civiles ou militaires), usage aéronautique général
10 à 2 000		10	10	Lanceurs spatiaux (200 m/s²). Composants pour moteurs dans les avions
55 à 500	10	10		Comme pour 10 Hz à 500 Hz, mais applicable aux petits composants rigides sans résonance au-dessous de 55 Hz
55 à 2 000		10	10	Comme pour 10 Hz à 2 000 Hz, mais applicable aux petits composants rigides sans résonance au-dessous de 55 Hz
100 à 2 000		10	10	Comme pour 55 Hz à 2 000 Hz, mais applicable aux très petits composants de construction très rigide, par exemple: transistors encapsulés, diodes, résistances, condensateurs et circuits intégrés
NOTE Lorsque plusieurs amplitudes sont spécifiques pour une gamme de fréquences donnée, une seule est utilisée.				
[1] Amplitude de déplacement au-dessous de la fréquence de transfert et amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert. Les fréquences de transfert sont comprises entre 58 Hz et 62 Hz (voir 5.2).				

Voir A.4.3 pour la méthode d'évaluation du nombre de cycles de contrainte.

Endurance aux fréquences fixes

Les durées caractéristiques de l'endurance à chaque fréquence fixe suivant chaque axe sont de 10 min, 30 min, 90 min et 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir l'Article A.1.

Copyright International Electrotechnical Commission

Pour les fréquences prédéterminées, il convient de choisir un temps d'endurance tel que soit appliquée une limite supérieure de contrainte de 10^7 cycles pour chacune des combinaisons de fréquences et d'axes spécifiées. Lorsque les conditions d'environnement sont bien connues, il convient que la durée d'exposition à appliquer aux fréquences fixes soit déterminée par le nombre de cycles qui se produisent pendant une durée de vie normale.

Copyright International Electrotechnical Commission

Annexe C
(informative)

Exemples de sévérités destinées principalement aux matériels

C.1 Généralités

Lorsque l'on sait quelle sera la sévérité des vibrations réelles, il est recommandé de l'utiliser (voir A.4.1). Quand on ne la connaît pas, il faut faire un choix arbitraire mais qui s'appuiera, dans la mesure du possible, sur les sévérités similaires, d'usage général dans les applications de même nature, comme celles que donne cette annexe.

Plusieurs combinaisons de gammes de fréquences, de niveau de vibrations et de durée d'endurance sont données à titre d'exemples de sévérités destinées en premier lieu à l'essai de matériels et autres articles (voir les Tableaux C.1 et C.2). Ces sévérités préférentielles ont été choisies à partir de paramètres recommandés pour l'essai d'endurance donnés dans l'Article 5 de la présente norme et sont considérées comme couvrant les applications les plus courantes de l'essai de vibrations. Il n'a pas été question d'établir une liste exhaustive et il convient que les exigences non prévues dans cette annexe soient choisies parmi les autres sévérités recommandées dans la présente norme et soient prescrites dans la spécification particulière.

Dans certaines applications, il peut ne pas être pratique d'utiliser l'endurance par balayage et il peut être nécessaire d'effectuer des essais aux fréquences critiques. Il est recommandé que de tels essais soient prescrits par la spécification particulière, conformément aux articles appropriés de la présente norme, en prenant cette annexe comme guide.

Le Tableau C.1 ne contient pas d'exemples de gammes de fréquences inférieures à 10 Hz et il n'y a donc pas de fréquences de transfert comprises entre 8 Hz et 10 Hz. Néanmoins, de nombreux exemples donnés pourraient avoir une fréquence de démarrage de 5 Hz, voire de 1 Hz, en fonction de l'application, et si la spécification particulière le prescrit.

**Tableau C.1 – Endurance par balayage –
Exemples avec des fréquences de transfert basses**

	Nombre de cycles de balayages suivant chaque axe			**Exemples d'application**
Amplitude m/s² **Gamme de fréquences** Hz	**5**	**10**	**20**	
10 à 150	50	–	–	Matériels fixes, tels que les grands ordinateurs et les laminoirs, longue durée d'exposition
10 à 150	20	–	–	Matériels fixes, tels que les gros émetteurs et les climatiseurs, exposition intermittente
10 à 150	–	20	20	Matériels destinés à être installés ou transportés à bord de bateaux, de trains ou de véhicules terrestres
NOTE Lorsque plusieurs amplitudes sont spécifiques pour une gamme de fréquences donnée, une seule est utilisée.				

Voir A.4.3 pour la méthode d'évaluation du nombre de cycles de contrainte.

Copyright International Electrotechnical Commission

C.2 Endurance aux fréquences fixes

Les durées caractéristiques de l'endurance à chaque fréquence fixe suivant chaque axe sont de 10 min, 30 min, 90 min et 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir l'Article A.1.

Pour les fréquences prédéterminées, il convient de choisir un temps d'endurance tel que soit appliquée une limite supérieure de contrainte de 10^7 cycles pour chacune des combinaisons de fréquences et d'axes spécifiées. Lorsque les conditions d'environnement sont bien connues, il convient que la durée d'exposition à appliquer aux fréquences fixes soit déterminée par le nombre de cycles qui se produisent pendant une durée de vie normale.

Tableau C.2 – Endurance par balayage – Exemples des fréquences de transfert élevées

	Nombre de cycles de balayages suivant chaque axe				Exemples d'application
Amplitude [1] **Gamme de fréquences** Hz	**0,15 mm ou 20 m/s²**	**0,35 mm ou 50 m/s²**	**0,75 mm ou 100 m/s²**	**1,5 mm ou 200 m/s²**	
1 à 35[2]	–	100	100	–	Matériels montés près de machines tournantes massives
10 à 55[2]	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Matériels de grandes centrales et matériels industriels d'usage général
10 à 150	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Matériels de grandes centrales et matériels industriels d'usage général, lorsque des vibrations appréciables ont été trouvées au-delà de 55 Hz
10 à 500	10	10	–	–	Matériels d'usage aéronautique général; les valeurs les plus élevées concernent les matériels situés près du compartiment des moteurs mais pas à l'intérieur de celui-ci
10 à 2 000	–	10	10	– 10	Matériels pour avions rapides; les valeurs les plus élevées concernent les matériels situés près du compartiment des moteurs mais pas à l'intérieur de celui-ci Compartiment des moteurs de l'avion

NOTE Lorsque plusieurs amplitudes sont spécifiées pour une gamme de fréquences donnée, une seule est utilisée.

[1] Amplitude de déplacement au-dessous de la fréquence de transfert et amplitude de l'accélération au-dessus de la fréquence de transfert. Les fréquences de transfert sont comprises entre 58 Hz et 62 Hz (voir 5.2).

[2] Essai à amplitude de déplacement constant.

Voir A.4.3 pour la méthode d'évaluation du nombre de cycles de contrainte.

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission

C.3 Endurance aux fréquences fixes

Les durées caractéristiques de l'endurance à chaque fréquence fixe suivant chaque axe sont de 10 min, 30 min, 90 min et 10 h.

Pour les fréquences quasi fixes, voir l'Article A.1.

Pour les fréquences prédéterminées, il convient de choisir un temps d'endurance tel que soit appliquée une limite supérieure de contrainte de 10^7 cycles pour chacune des combinaisons de fréquences et d'axes spécifiées. Lorsque les conditions d'environnement sont bien connues, il convient que la durée d'exposition à appliquer aux fréquences fixes soit déterminée par le nombre de cycles qui se produisent pendant une durée de vie normale.

Copyright International Electrotechnical Commission

Bibliographie

CEI 60050(721): 1991, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 721: Télégraphie, télécopie et communication de données*

CEI 60068-2-64: 1993, *Essais d'environnement – Partie 2-64: Méthodes d'essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide*

Copyright International Electrotechnical Commission

Copyright International Electrotechnical Commission

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

Copyright International Electrotechnical Commission