



IEC 60068-2-64

Edition 2.0 2008-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Environmental testing –

Part 2-64: Tests – Test Fh: Vibration, broadband random and guidance

Essais d'environnement –

Partie 2-64: Essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande et guide

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 19.040

ISBN 2-8318-9745-9

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Requirements for test apparatus.....	12
4.1 General.....	12
4.2 Basic motion	12
4.3 Cross-axis motion	13
4.4 Mounting	13
4.5 Measuring systems.....	13
4.6 Vibration tolerances	14
4.7 Control strategy.....	17
4.8 Vibration response investigation.....	17
5 Severities	18
5.1 Test frequency range	18
5.2 RMS value of acceleration	18
5.3 Shape of acceleration spectral density curve.....	18
5.4 Test duration	19
6 Preconditioning	19
7 Initial measurements and functional performance test	19
8 Testing	19
8.1 General.....	19
8.2 Initial vibration response investigation	20
8.3 Low-level excitation for equalization prior to testing.....	20
8.4 Random testing	21
8.5 Final vibration response investigation.....	21
9 Recovery	21
10 Final measurements and functional performance	21
11 Information to be given in the relevant specification	22
12 Information to be given in the test report	22
Annex A (informative) Standardized test spectra.....	24
Annex B (informative) Guidance.....	30
Bibliography.....	34
Figure 1 – Tolerance bands for acceleration spectral density; initial and final slope (see B.2.3).....	14
Figure 2 – Time history of stochastically excitation; probability density function with Gaussian (normal) distribution (Example with crest factor = 3, see also 3.14 and 4.6.2)	15
Figure 3 – Statistical accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels (see also 4.6.3)	16

Table A.1 – Categories for spectrum: transportation	24
Table A.2 – Break points for spectrum: transportation	25
Table A.3 – Categories for spectrum: stationary installation	25
Table A.4 – Break points for spectrum: stationary installation	26
Table A.5 – Categories for spectrum: equipment in wheeled vehicles	27
Table A.6 – Break points for spectrum: equipment in wheeled vehicles	28
Table A.7 – Categories for spectrum: equipment in airplanes and helicopters	29
Table A.8 – Break points for spectrum: equipment in airplanes and helicopters	29

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING –**Part 2-64: Tests – Test Fh: Vibration,
broadband random and guidance**

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 60068-2-64 has been prepared by IEC technical committee 104: Environmental conditions, classification and methods of test.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1993, and constitutes a technical revision.

The major changes with regard to the previous edition concern the removal of Method 1 and Method 2, replaced by a single method, and replacement of Annex A with suggested test spectra and removal of Annex C.

Also included in this revision is the testing of soft packed specimens.

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

FDIS	Report on voting
104/456/FDIS	104/459/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.

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

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.

INTRODUCTION

This part of IEC 60068 deals with broadband random vibration testing intended for general application to components, equipment and other products, hereinafter referred to as "specimens", that may be subjected to vibrations of a stochastic nature. The methods and techniques in this standard are based on digital control of random vibration. It permits the introduction of variations to suit individual cases if these are prescribed by the relevant specification.

Compared with most other tests, test Fh is not based on deterministic but on statistical techniques. Broad-band random vibration testing is therefore described in terms of probability and statistical averages.

It is emphasized that random testing always demands a certain degree of engineering judgement, and both supplier and purchaser should be fully aware of this fact. The writer of the relevant specification is expected to select the testing procedure and the values of severity appropriate to the specimen and its use.

The test method is based primarily on the use of an electrodynamic or a servo-hydraulic vibration generator with an associated computer based control system used as a vibration testing system.

Annexes A and B are informative annexes giving examples of test spectra for different environmental conditions, a list of details to be considered for inclusion in specifications and guidance.

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2-64: Tests-Test Fh: Vibration, broadband random and guidance

1 Scope

This part of IEC 60068 demonstrates the adequacy of specimens to resist dynamic loads without unacceptable degradation of its functional and/or structural integrity when subjected to the specified random vibration test requirements.

Broadband random vibration may be used to identify accumulated stress effects and the resulting mechanical weakness and degradation in the specified performance. This information, in conjunction with the relevant specification, may be used to assess the acceptability of specimens.

This standard is applicable to specimens which may be subjected to vibration of a stochastic nature resulting from transportation or operational environments, for example in aircraft, space vehicles and land vehicles. It is primarily intended for unpackaged specimens, and for items in their transportation container when the latter may be considered as part of the specimen itself. 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. This standard may be used in conjunction with IEC 60068-2-47:2005, for testing packaged products.

If the specimens are subjected to vibration of a combination of random and deterministic nature resulting from transportation or real life environments, for example in aircraft, space vehicles and for items in their transportation container, testing with pure random may not be sufficient. See IEC 60068-3-8:2003 for estimating the dynamic vibration environment of the specimen and based on that, selecting the appropriate test method.

Although primarily intended for electrotechnical specimens, this standard is not restricted to them and may be used in other fields where desired (see Annex A).

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 60050-300: *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements – Part 312: General terms relating to electrical measurements – Part 313: Types of electrical measuring instruments – Part 314: Specific terms according to the type of instrument*

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

IEC 60068-2-6: *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-47:2005, *Environmental testing – Part 2-47: Tests – Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests*

IEC 60068-3-8:2003, *Environmental testing – Part 3-8: Supporting documentation and guidance – Selecting amongst vibration tests*

IEC 60068-5-2: *Environmental testing – Part 5-2: Guide to drafting of test methods – Terms and definitions*

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

IEC Guide 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

ISO 2041: *Vibration and shock – Vocabulary*

3 Terms and definitions

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

NOTE The terms used are generally defined in IEC 60050-300, IEC 60068-1, IEC 60068-2-6, and IEC 60068-5-2 and ISO 2041. If a definition from one of those sources is included here, the derivation is indicated and departures from the definitions in those sources are also indicated.

3.1

cross-axis motion

motion not in the direction of the stimulus; generally specified in the two axes orthogonal to the direction of the stimulus

NOTE The cross-axis motion should be measured close to the fixing points.

3.2

actual motion

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

3.3

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

3.4

control methods

3.4.1

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

3.4.2

multipoint control

control method using the signals from each of the transducers at the checkpoints

NOTE The signals are either continuously averaged arithmetically or processed by using comparison techniques, depending upon the relevant specification. See also 3.13.

3.5

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/s².

3.6 measuring points

specific points at which data are gathered for conducting the test

NOTE These points are of three types, as defined in 3.7 to 3.9.

3.7 checkpoint

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 checkpoints 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 checkpoint. For packaged products, where a fixing point may be interpreted as the packaging surface in contact with the vibration table, one checkpoint 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 checkpoints.

NOTE 3 In special cases, for example for large or complex specimens, the checkpoints will be prescribed by 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 with a number of fixing points, a single checkpoint (that is 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 procedure is only valid when the lowest resonance frequency of the loaded fixture is well above the upper frequency of the test.

3.8 reference point (single-point control)

point, chosen from amongst the checkpoints, whose signal is used to control the test, such that the requirements of this standard are satisfied

3.9 fictitious reference point (multipoint control)

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

3.10 response points

specific points on the specimen from which data is gathered for the purpose of the vibration response investigation

NOTE These points are not the same as checkpoints or reference points.

3.11 preferred testing axes

three orthogonal axes that correspond to the most vulnerable axes of the specimen

3.12 sampling frequency

number of discrete magnitude values taken per second to record or represent a time-history in a digital form

3.13 multipoint control strategies

method for calculating the reference control signal when using multipoint control

NOTE Different frequency domain control strategies are discussed to in 4.7.1.

3.14

averaging

process of determining the control acceleration spectral density formed from the arithmetic average of the acceleration spectral densities at each frequency line of more than one checkpoint

3.15

extremal (maximum or minimum)

process of determining the control acceleration spectral density formed from the maximum or minimum acceleration spectral density at each frequency line of more than one checkpoint

3.16

crest factor

ratio of the peak value to the r.m.s. value of the time history

[ISO 2041]

3.17

–3 dB bandwidth

frequency bandwidth between two points in a frequency response function which are at 0,707 of the maximum response when associated with a single resonance peak

3.18

acceleration spectral density

ASD

mean-square value of that part of an acceleration signal passed by a narrow-band filter of a centre frequency, per unit bandwidth, in the limit as the bandwidth approaches zero and the averaging time approaches infinity

3.19

control acceleration spectral density

acceleration spectral density measured at the reference point or the fictitious reference point

3.20

control system loop

sum of the following actions:

- digitizing the analogue waveform of the signal derived from the reference point or fictitious reference point;
- performing the necessary processing;
- producing an updated analogue drive waveform to the vibration system power amplifier (see Clause B.1.)

3.21

drive signal clipping (see also Figure 1)

limitation of the maximum crest factor of the drive signal effective frequency range

3.22

effective frequency range (see also Figure 1)

frequency range between 0,5 times f_1 and 2,0 times f_2

NOTE Due to initial and final slope, the effective frequency range is higher than the test frequency range between f_1 and f_2 .

3.23

error acceleration spectral density

difference between the specified acceleration spectral density and the control acceleration spectral density

3.24**equalization**

minimization of the error acceleration spectral density

3.25**final slope** (see also Figure 1)

part of the specified acceleration spectral density above f_2

3.26**frequency resolution** B_e

width of the frequency intervals in the acceleration spectral density in Hertz

NOTE It is equal to the reciprocal of the record block length (T) in digital analysis; the number of frequency lines is equal to the number of intervals in a given frequency range

3.27**indicated acceleration spectral density**

estimate of the true acceleration spectral density read from the analyser presentation distorted by the instrument error and the random error

3.28**initial slope** (see also Figure 1)

part of the specified acceleration spectral density below f_1

3.29**instrument error**

error associated with each analogue item of the input to the control system and control system analogue items

3.30**random error**

error changing from one estimate to another of the acceleration spectral density because of the limitation of averaging time and filter bandwidth in practice

3.31**record**

collection of equally spaced data points in the time domain that are used in the calculation of the Fast Fourier Transform

3.32**reproducibility**

closeness of the agreement between the results of measurements of the same value of the same quantity, where the individual measurements are made

- by different methods,
- with different measuring instruments,
- by different observers,
- in different laboratories,
- after intervals of time which are long compared with the duration of a single measurement,
- under different customary conditions of use of the instruments employed

NOTE The term "reproducible" also applies to the case where only certain of the preceding conditions are taken into account.

[IEC 60050-300, modified]

3.33

root-mean-square value (see also Figure 2)

root-mean-square value (r.m.s. value) of a single-valued function over an interval between two frequencies is the square root of the average of the squared values of all functions over the total frequency interval f_1 and f_2

3.34

standard deviation, σ (see also Figure 2)

in vibration theory, the mean value of vibration is equal to zero; therefore for a random time history, the standard deviation is equal to the r.m.s. value

3.35

statistical accuracy

ratio of true acceleration spectral density to indicated acceleration spectral density

3.36

statistical degrees of freedom (see also Figure 3)

DOF

for estimation of acceleration spectral density of random data with a time-averaging technique, the effective number of statistical degrees of freedom is derived from the frequency resolution and the effective averaging time

3.37

test frequency range

frequency range between f_1 and f_2 (see Figure 1) in which the ASD is constant or shaped as given in the relevant specification

3.38

true acceleration spectral density

acceleration spectral density of the random signal acting on the specimen

4 Requirements for test apparatus

4.1 General

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.

The standardized test method consists of the following test sequence normally applied in each of the mutually perpendicular axes of the test specimen:

- 1) An initial vibration response investigation, with low level sinusoidal excitation, or low level random excitation, (see 8.2).
- 2) The random excitation as the mechanical load or stress test.
- 3) A final vibration response investigation to compare the results with the initial one and to detect possible mechanical failures due to a change of the dynamic behaviour (see 8.2 and 8.5).

Where the dynamic behaviour is known, and it is not considered relevant, or sufficient data can be gathered during the test at full level, the relevant specification may not require pre and post test vibration response investigations.

4.2 Basic motion

The basic motion of the fixing points of the specimen shall be prescribed by the relevant specification. The fixing points shall have substantially identical motions in phase and amplitude and shall be rectilinear relative to the direction of excitation. If substantially identical motions are difficult to achieve, then multipoint control shall be used.

NOTE For large structures and a high frequency range, for example 20 Hz – 2 000 Hz, the dynamics of the test specimen is likely to require multipoint control.

4.3 Cross-axis motion

Cross-axis motion should be checked, if required by the relevant specification, either before the test is applied by conducting a sine or random investigation at a level prescribed by the relevant specification, or during testing by utilising additional monitoring channels in the two perpendicular axes.

The ASD value of each frequency at the checkpoints in both axes perpendicular to the specified axis shall not exceed the specified ASD values above 500 Hz and below 500 Hz shall not exceed –3 dB of the specified ASD values. The total r.m.s. value of acceleration in both axes perpendicular to the specified axis shall not exceed 50 % of the r.m.s. value for the specified axis. For example for a small specimen, the ASD value of the permissible cross axis motion may be limited such that it does not exceed –3 dB of the basic motion, if so prescribed by the relevant specification.

At some frequencies or with large-size or high-mass specimens, it may be difficult to achieve these values. Also, in those cases where the relevant specification requires severities with a large dynamic range, it may also be difficult to achieve these. In such cases, the relevant specification shall state which of the following requirements applies:

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

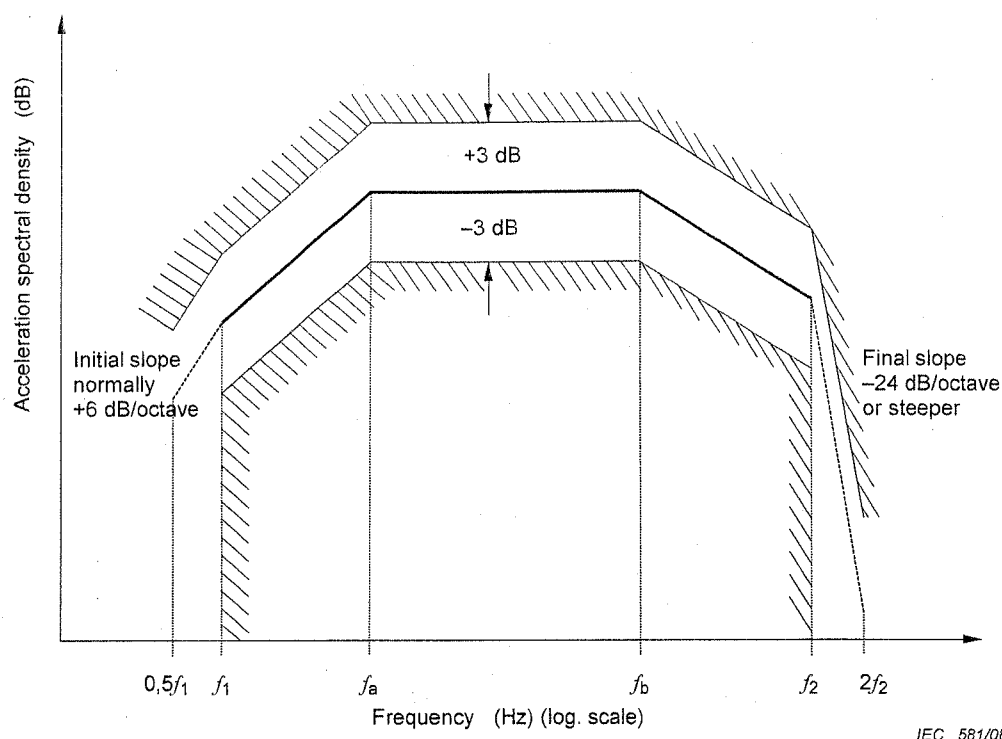
4.4 Mounting

The specimen shall be mounted in accordance with IEC 60068-2-47. In any case, the transmissibility curve chosen from IEC 60068-2-47 must be squared before multiplication with the ASD spectrum.

4.5 Measuring systems

The characteristics of the measuring system shall be such that it can be determined whether the true value of the vibration as measured in the intended axis at the reference point is within the tolerance required for the test.

The frequency response of the overall measuring system, which includes the transducer, the signal conditioner and the data acquisition and processing device, has a significant effect on the accuracy of the measurements. The frequency range of the measuring system shall extend from at least 0,5 times the lowest frequency (f_1) to 2,0 times the highest frequency (f_2) of the test frequency range (see Figure 1). The frequency response of the measuring system shall be flat within ± 5 % of the test frequency range. Outside of this range any further deviation shall be stated in the test report.



IEC 581/08

Figure 1 – Tolerance bands for acceleration spectral density; initial and final slope (see B.2.3)

4.6 Vibration tolerances

4.6.1 ASD and r.m.s. value

The indicated acceleration spectral density in the required axis at the reference point between f_1 and f_2 in Figure 1 shall be within ± 3 dB, allowing for the instrument and random error, referred to the specified acceleration spectral density.

The r.m.s. value of acceleration, computed or measured between f_1 and f_2 , shall not deviate more than 10 % from the r.m.s. value associated with the specified acceleration spectral density. These values are valid for both the reference point and fictitious reference point.

At some frequencies, or with large-size or high-mass specimens, it may be difficult to achieve these values. In such cases, the relevant specification shall prescribe a wider tolerance.

The initial slope shall not be less than +6 dB/octave and the final slope shall be -24 dB/octave or steeper (see also B.2.3).

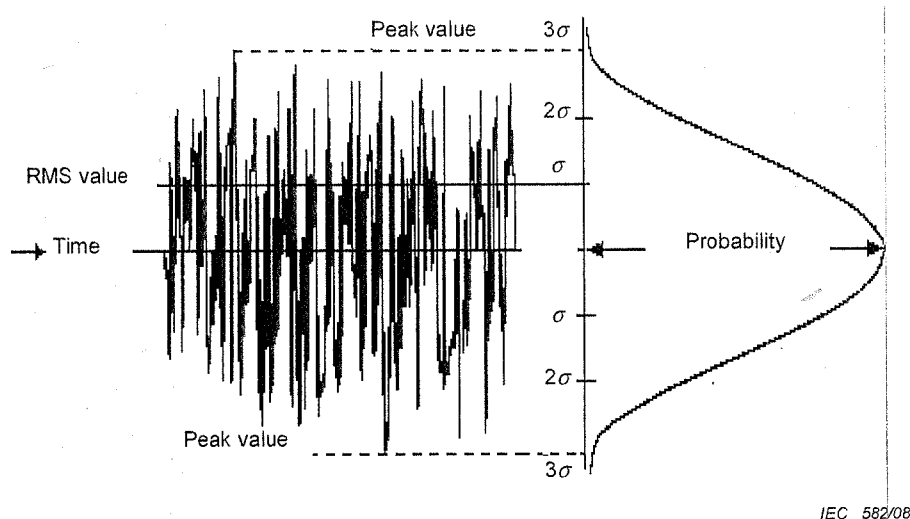
4.6.2 Distribution

The instantaneous acceleration values at the reference point shall have an approximately normal (Gaussian) distribution as given in Figure 2. If explicitly desired, a validation shall be performed during normal system calibration (see B.2.2).

The drive signal clipping shall have a value of at least 2,5 (see 3.16). The crest factor of the acceleration signal at the reference point shall be examined to ensure that the signal contains peaks of at least 3 times the specified r.m.s. value, unless otherwise prescribed by the relevant specification.

If a fictitious reference point is used for control, the requirement for the crest factor applies to each individual checkpoint used to form the control acceleration spectral density.

The probability density function shall be computed for the reference point for a duration of 2 min during testing. The admissible deviation from the normal distribution, Figure 2, shall be prescribed in the relevant specification.



**Figure 2 – Time history of stochastically excitation;
probability density function with Gaussian (normal) distribution
(example with crest factor = 3, see also 3.14 and 4.6.2)**

4.6.3 Statistical accuracy

The statistical accuracy is determined from the statistical degrees of freedom N_d and the confidence level (see also Figure 3). The statistical degrees of freedom are given by:

$$N_d = 2B_e \times T_a \quad (1)$$

where

B_e is the frequency resolution;

T_a is the effective averaging time.

N_d shall not be less than 120 DOF, unless otherwise specified by the relevant specification. If the relevant specification states confidence levels to be met during the test, Figure 3 should be used to calculate statistical accuracy.

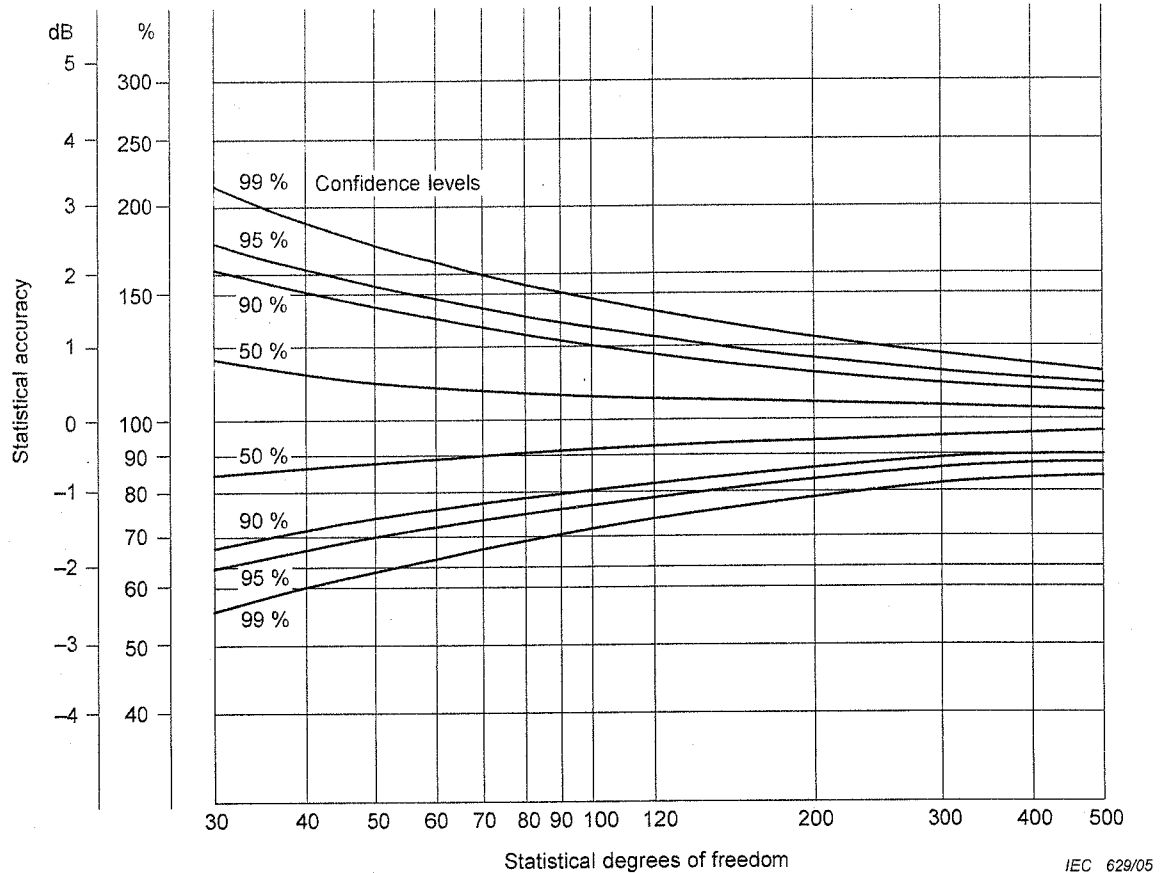


Figure 3 – Statistical accuracy of acceleration spectral density versus degrees of freedom for different confidence levels (see also 4.6.3)

4.6.4 Frequency resolution

The frequency resolution B_e in Hz necessary to minimize the difference between the true and the indicated acceleration spectral density shall be selected by taking the digital controller frequency range divided by the number of spectral lines (n).

$$B_e = f_{\text{high}}/n \quad (2)$$

where

f_{high} is the frequency range chosen from the options provided by the digital vibration control system in Hertz and should be equal or greater than $2f_2$, that is $f_{\text{high}} \geq 2f_2$, see Figure 1;

n is the number of spectral lines equally spread over the frequency range to f_{high} .

The number of spectral lines, n , should be at least 200. Frequency resolution shall be given in the relevant specification (see also Clause 11, item j)) and stated in the test report.

B_e shall be chosen such that, as a minimum, a frequency line coincides with the frequency f_1 in Figure 1 and the first frequency line is at 0,5 of f_1 ; also that two frequency lines define the initial slope. If this gives two different values then the smallest B_e shall be chosen.

NOTE There is a compromise between having a finer B_e , resulting in a longer loop control time and better definition of the spectrum, or having a coarser B_e , resulting in a shorter loop control time and worse definition of the spectrum.

4.7 Control strategy

4.7.1 Single/multipoint control

When multipoint control is specified or necessary, the control strategy shall 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 value of the signals at the checkpoints or the extremal value out of the signals at the selected control points shall be controlled to the specified level. For multipoint control, the relevant specification should state whether an unprocessed spectrum of each of the control channels contributing to the control spectrum should be added to the test report.

NOTE If it is not possible to achieve single point control, then multipoint control should be used by controlling the average or extreme value of the signals at the checkpoints. In either of these cases of multipoint control, the point is a fictitious reference point. The method used should be stated in the test report.

The following strategies are available.

4.7.1.1 Averaging strategy

In this method, the control value is computed from the signals from each checkpoint. A composite control value is formed by arithmetically averaging the ASD value at each frequency line from the checkpoints. This arithmetically averaged control value is then compared with the specified ASD value of each frequency.

4.7.1.2 Weighted averaging strategy

The control ASD of each frequency a_c is formed by averaging the ASD from the checkpoints a_1 to a_n according to their weighting w_1 to w_n :

$$a_c = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$

This control strategy offers the possibility that different checkpoint signals contribute a different portion to the control value of each frequency.

4.7.1.3 Extremal strategy

In this method, a composite control ASD is computed from the maximum (MAX) or the minimum (MIN) extreme ASD values of each frequency line measured at each checkpoint. This strategy will produce a control value of each frequency that represents the envelope of the ASD values as a function of frequency from each checkpoint (MAX) or a lower limit of the ASD values as a function of frequency from each checkpoint (MIN).

4.7.2 Multireference control

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

When multireference control is specified, the control strategy shall be either:

Limiting: All control signals shall be beneath their appropriate reference spectrum.

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

4.8 Vibration response investigation

The vibration response investigation is a convenient and sensitive method for the evaluation of the effects of vibration testing, see IEC 60068-3-8. Aims, purposes and methods for vibration response investigations with its advantages are explained in IEC 60068-3-8. The

requirements for sinusoidal excitation are given in test Fc (IEC 60068-2-6) and those for random excitation are given in this standard.

In the case of sinusoidal excitation, it should be remembered that, in the case of non-linear resonances, the resonance frequencies will change depending on the direction of frequency variation during the sweep. For random excitation non linearities can influence resonance behaviour. For sinusoidal and random excitation, the amplification at resonance may be dependent on the magnitude of the input vibration.

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 velocity. If specified by a relevant specification, for example, the spectra of the mechanical impedance of the specimen should be calculated before and after the test.

NOTE Mechanical impedance and other similar terms are defined in ISO 2041.

5 Severities

The test severity is determined by the combination of all the following parameters:

- test frequency range;
- r.m.s. value of acceleration;
- shape of acceleration spectral density;
- duration of testing.

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

- a) chosen from the values given in 5.1 to 5.4;
- b) chosen from the examples in Annex A for different environmental conditions;
- c) derived from the known environment if this gives significantly different values; or
- d) derived from other known sources of relevant data (for example IEC 60721-3).

5.1 Test frequency range

If option a) is chosen, then f_1 and f_2 may be chosen from the following values in Hz:

- a) f_1 : 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100;
- b) f_2 : 20; 50; 100; 200; 500; 1 000; 2 000; 5 000.

Frequencies f_1 and f_2 and their relation to the acceleration spectral density are shown in spectra examples in Annex A.

5.2 RMS value of acceleration

If option a) is chosen, then the r.m.s. value of acceleration (nominal value in Figure 1) between f_1 and f_2 may be chosen from the following values in m/s^2 :

1; 1,4; 2; 2,8; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 35; 50; 70; 100; 140; 200; 280

NOTE The value of 10 m/s^2 is ascribed to g_n for the purposes of this standard.

5.3 Shape of acceleration spectral density curve

This test specifies an acceleration spectral density curve with increasing, decreasing and horizontal portions (see spectra A.1 – A.4). For a standard test one of the spectra shall be selected according to the dynamic environment of the test item. The relevant acceleration spectral density values shall be calculated by the control system taking the r.m.s. values at the specified frequencies and shape of the spectrum into account. In special cases, it may be appropriate

to specify an individually shaped acceleration spectral density curve. In these cases the relevant specification shall prescribe the shape as a function of frequency. The different levels and their corresponding frequency ranges, (break points) shall be selected whenever possible from the values given in 5.1 and 5.2 and the spectra A.1 – A.4.

5.4 Test duration

The duration of testing shall be given in the relevant specification or may be selected from the following series: 1; 2; 5; 10; 20; 30; 45; 60 min; 2; 5; 8; 12; 24 h, with a tolerance of +5 %.

6 Preconditioning

If the relevant specification calls for preconditioning it shall then prescribe the conditions.

7 Initial measurements and functional performance test

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

8 Testing

8.1 General

Testing follows the sequence prescribed by the relevant specification. The different steps are as follows:

- initial vibration response investigation, if prescribed;
- low-level excitation for equalization before proceeding to the full level test in one continuous mode;
- random vibration testing;
- final vibration response investigation, if prescribed.

The specimen shall be excited in each of the preferred testing axes in turn, unless otherwise prescribed by the relevant specification. The order of the testing along these axes is not important, unless prescribed by the relevant specification. If the specimen is sensitive to gravity, for example a mercury tilt switch, then vibration may only be applied in its normal service position and shall be prescribed by the relevant specification.

The control ASD of each frequency at the reference point shall be derived from one checkpoint if single-point control is used or from a number of checkpoints where multipoint control is utilized.

In the latter case, the relevant specification shall state which checkpoints shall be used to control to the specified level for the following control strategies, (see also 4.7):

- the average value of the ASD of each checkpoint (average control);
- the weighted average value of the ASDs at the checkpoints (weighted average control); or
- the maximum or minimum extreme values of each frequency of all checkpoints (extremal control).

In either of the above cases of multipoint control, the control spectrum becomes a fictitious one without a reference to an existing checkpoint.

Special action is necessary when a specimen normally intended for use with vibration isolators needs to be tested without them. See also IEC 60068-2-47.

8.2 Initial vibration response investigation

If not especially prescribed by the relevant specification, a vibration response investigation is not required. However, the relevant specification may prescribe a vibration response investigation in each axis either before, or both before and after, the random vibration testing.

When prescribed by the relevant specification, the dynamic response for at least one point on the specimen in the defined frequency range shall be investigated. The number and position of the response points should be clearly defined in the relevant specification. The vibration response investigation may be performed with sinusoidal or random vibration in a test frequency range and with a test level as prescribed by the relevant specification. Reference is made to IEC 60068-2-6 for sinusoidal vibration and to this standard for random vibration excitation. Also see IEC 60068-3-8 for more information and the advantages and disadvantages of each method.

The response investigation shall be carried out with a test level selected so that the response of the specimen remains less than during random testing but at a sufficiently high level to detect critical frequencies.

When sinusoidal excitation is used, at least one sweep cycle over the test frequency range prescribed by the relevant specification shall be performed with an acceleration amplitude $\leq 10 \text{ m/s}^2$ or a displacement amplitude of $\pm 1 \text{ mm}$, whichever is less. The vibration amplitude shall be adapted to the r.m.s. acceleration value of the random test, in order to prevent a higher stress on the specimen than during random vibration testing. A sweep rate of 1 octave per minute shall be applied to determine the frequencies and amplitudes of the resonances. If there is concern about exciting the structure to a full resonance then a faster sweep rate may be applied as an indication of frequency and relative amplitude of the resonance within the frequency band of interest. Investigations at slower sweep rates or sweeping back and forth around a known resonance may be required but should be limited to the minimum time to obtain the results required. Undue dwell time is to be avoided. The vibration amplitude may be varied as required.

The response investigation with random vibration shall be carried out taking into account that the time of the test shall be long enough to minimize stochastic variations in the response. A random vibration response test shall be carried out using a spectrum between f_1 and f_2 . At the lowest resonance frequency there shall be a minimum of five spectral lines within the frequency band at -3 dB of the resonance peak.

When random excitation is used, the r.m.s. value of acceleration should be not more than 25 % of the value specified to be used during the random vibration testing. The duration shall be as short as possible, but at least long enough to make an analysis with $\text{DOF} = 120$ possible degrees of freedom (see Figure 3). If the resonance response is observed and documented periodically during the full level test, special resonance investigations are not necessary.

The specimen shall be in functioning mode during this 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 this stage, the specimen shall be examined in order to determine the critical frequencies which shall then be stated in the test report.

8.3 Low-level excitation for equalization prior to testing

Prior to random vibration testing at the specified level, a preliminary random excitation at lower levels with the real specimen may be necessary to equalize the signal and for preliminary analysis. It is important that at this stage the level of the acceleration spectral density applied is kept to a minimum.

The permitted durations for preliminary random excitation are the following:

- below -12 dB of the specified r.m.s. value level: no time limit;
- from -12 dB to -6 dB of the specified r.m.s. value level: not more than 1,5 times the specified test duration;
- between -6 dB and 0 dB of the specified r.m.s. value level: not more than 10 % of the specified test duration.

The duration of the preliminary random excitation shall not be subtracted from the specified test duration for random vibration testing.

8.4 Random testing

8.4.1 General

The relevant specification shall select the appropriate test frequency range (f_1 to f_2), the overall r.m.s. value of acceleration, the shape of the acceleration spectral density curve and test duration. When prescribed by the relevant specification, multiple measurements of the acceleration spectral density and of the r.m.s. value of acceleration, at the checkpoints, shall be made at appropriate intervals in order to verify that the random input spectrum is stationary, and this shall be stated in the test report.

8.4.2 Intermediate measurements and functional performance

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning during a prescribed time interval during the testing, and its performance shall be checked (see Clause B.6).

8.5 Final vibration response investigation

If the relevant specification has prescribed an initial response investigation, it may also require an additional vibration response investigation on completion of the random testing, in order to determine whether changes or failures have occurred since the initial vibration response investigation. The final response investigation shall then be performed in the same manner at the same response points and with the same parameters as used for the initial vibration response investigation. Guidelines for the use of changes in vibration response, for example change of critical frequencies, is given in IEC 60068-3-8. The relevant specification shall state what action is to be taken if different results are obtained in the two investigations.

9 Recovery

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

10 Final measurements and functional performance

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

The relevant specification shall provide the criteria upon which the acceptance or rejection of the specimen shall be based.

For the evaluation of vibration response results see IEC 60068-3-8.

11 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
a) Control point*	3.4
b) Measuring points*	3.6
c) Basic motion*	4.2
d) Fixing points*	4.2
e) Cross axis motion	4.3
f) Mounting of the specimen*	4.4
g) Vibration tolerances for testing large-size or high-mass specimens	4.6
h) Crest factor* / distribution / drive signal clipping	4.6.2
i) Statistical accuracy (number of DOFs)	4.6.3
j) Frequency resolution*	4.6.4
k) Control strategy	4.7
l) Test frequency range*	5.1
m) RMS value of acceleration*	5.2
n) Shape of acceleration spectral density curve*	5.3
o) Test duration*	5.4
p) Preconditioning	6
q) Initial measurements*	7
r) Preferred testing axes and order of testing*	8.1
s) Critical frequencies	8.2
t) Initial and final vibration response investigation	8.2 & 8.5
u) Intermediate measurements	8.4.2
v) Recovery	9
w) Final measurements and acceptance or rejection criteria*	10
x) Uncertainty of measuring system	B.1
y) Performance and functional check	10

12 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) Purpose of the test	(development test, qualification, etc)
6) Test standard, edition	(relevant test procedure)
7) Test specimen description	(initial status, unique ID, quantity, photo, drawing, etc.)
8) Mounting of test specimen	(fixture id, drawing, photo, etc.)

- | | | |
|-----|--|---|
| 9) | Performance of test apparatus | (cross motion, etc.) |
| 10) | Measuring system, sensor location | (description, drawing, photo, etc.) |
| 11) | Uncertainties of measuring system,
if required by relevant specification | (overall uncertainty, calibration data,
last/next date of calibration) |
| 12) | Control strategy | (single/multipoint control, multi reference
control) |
| 13) | Initial, intermediate and/or final measurements | |
| 14) | Required severities | (as specified in test specification) |
| 15) | Test severities with documentation,
if required by the relevant specification | (measuring points, test spectra, test
duration, frequency resolution, number
of DOFs, distribution, etc.) |
| 16) | Test results | (final status of test specimen) |
| 17) | Observations during testing and actions taken | |
| 18) | Summary of test | |
| 19) | Test manager | (name and signature) |
| 20) | Distribution | (list of those receiving the report) |

NOTE 1 A test log should be written for the testing, where the test is documented by, 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 ISO/IEC 17025.

Annex A (informative)

Standardized test spectra

For several environmental conditions standard input spectra are derived from different specifications such as MIL-STD 810F, EN 61373, RTCA DO-160D as well as internal specifications of automobile and electronic companies. The test parameters are examples for tests with the following standard environmental conditions. For details see specifications referenced in the tables.

Spectrum A.1 Transportation

For details see specifications referenced in Tables A.1 and A.2 below.

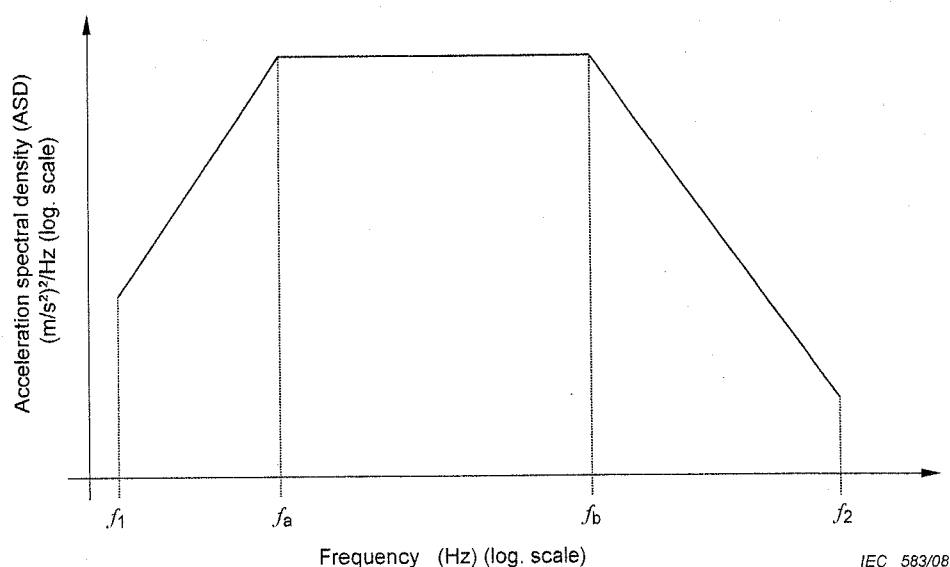


Figure A.1 – Frequency/amplitude break points – Transportation

Table A.1 – Categories for spectrum – Transportation

Category	Description	Suggested time per axis	Axes	Specification/ reference
No.		h	No.	
1	Truck transportation over U.S. highways; restrained cargo.			
1 a	Vertical	1	1	MIL-STD 810F derived from MIL-STD 810F
1 b	Horizontal	1	2	
2	Transportation; water, land; hard conditions. Railcar with hard suspension trailers.	0,5	3	
3	Telecommunications equipment; portable and non-stationary use; Rough handling and transfer.	0,5	3	ETSI 300 019-2-7
4	Portable equipment; operating.	0,5	3	

Table A.2 – Break points for spectrum: transportation

Category	f_1	$ASD f_1$	f_a	f_b	$ASD f_a, f_b$	f_2	$ASD f_2$	$a_{r.m.s.}$ value
No.	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	m/s^2
1 a	(10) ^a	1,44	5	40	1,44	500	0,0144	(10,2)
1 b	5	0,65	5	20	0,65	500	0,015	6,5
2	10	1,0	10	200	1,0	500	0,3	18,7
3	10	2,0	10	12	2,0	150	0,16	8,0
4	10	0,037	30	200	0,33	500	0,053	9,9

^a Values in brackets: for details see specification.

Spectrum A.2 Stationary installation

For details see specifications referenced in the Tables A.3 and A.4 below.

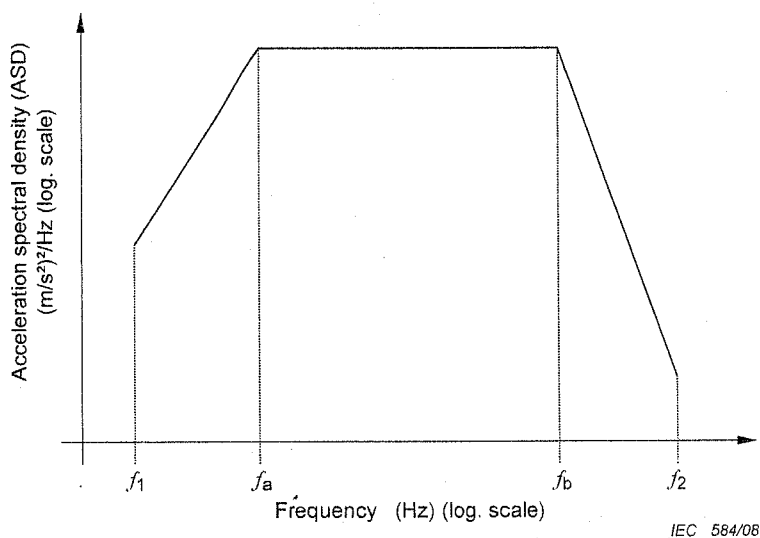


Figure A.2 – Stationary installation spectrum – Frequency/amplitude break points

Table A.3 – Categories for spectrum: stationary installation

Category	Description	Suggested time per axis	axes	Specification/ reference
No.		h	No.	
1	Telecommunications equipment; stationary use at weather protected locations; partly temperature-controlled locations; in-use. NOTE Stationary used equipment as Central Computers, PCs, Printers; operating. Equipment with highly sensitive components; operating. Buildings with no noticeable vibration.	0,5	3	ETSI EN 300 019-2-3, T 3.2
2	Telecommunications equipment; stationary use at weather protected locations; sheltered locations; in-use. NOTE Buildings with noticeable vibration but not externally induced.	0,5	3	ETSI EN 300 019-2-3, T 3.5
3	Buildings with externally induced vibration; non operating.	1	3	

Table A.4 – Break points for spectrum: stationary installation

Category	f_1	$ASDf_1$	f_a	f_b	$ASDf_a, f_b$	f_2	$ASDf_2$	$a_{r.m.s.}$ value.
No.	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	m/s ²
1	5	0,001 3	10	50	0,02	100	0,001 3	1,1
2	5	0,002 5	10	50	0,04	100	0,002 5	1,5
3	10	0,022	30	200	0,20	500	0,005 2	7,0

Spectrum A.3 Equipment in wheeled vehicles

For details see specifications referenced in the Tables A.5 and A.6 below.

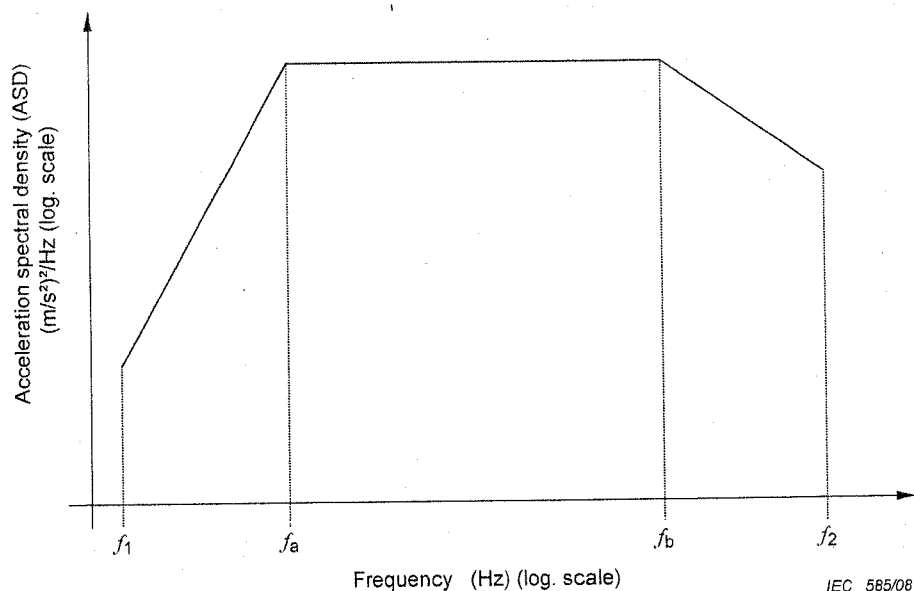


Figure A.3 – Equipment in wheeled vehicles – Frequency/amplitude break points

Table A.5 – Categories for spectrum: equipment in wheeled vehicles

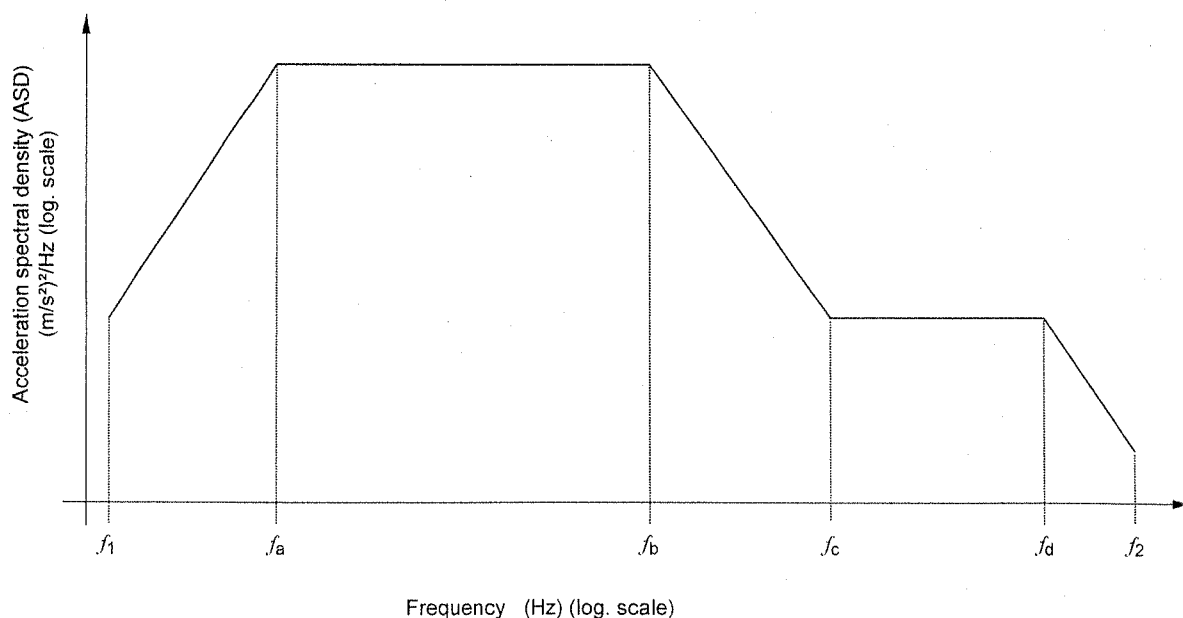
Category	Description	Suggested time per axis	axes	Specification/ reference
No.		h	No.	
1	Automobile; chassis mounted.	8	3	
2 a	Automobile; Installation area: Engine compartment (bay); attached to body or on the radiator. Vertical	8	1	
2 b	Horizontal longitudinal	8	1	
2 c	Horizontal transversal	8	1	
3 a	Railcars; body mounted; mass of test specimen < 500 kg. Vertical	5	1	IEC 61373, Cat. 1 B
3 b	Horizontal longitudinal	5	1	
3 c	Horizontal transversal	5	1	
4 a	Railcars; bogie mounted; mass of test specimen < 100 kg. Vertical	5	1	IEC 61373, Cat. 2
4 b	Horizontal longitudinal	5	1	
4 c	Horizontal transversal	5	1	
5 a	Railcars; axle mounted; mass of test specimen < 50 kg. Vertical	5	1	IEC 61373, Cat. 3
5 b	Horizontal longitudinal	5	1	
5 c	Horizontal transversal	5	1	

Table A.6 – Break points for spectrum: equipment in wheeled vehicles

Category	f_1	$ASD f_1$	f_a	f_b	$ASD f_a, f_b$	f_2	$ASD f_2$	$a_{r.m.s.}$ value
No.	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	m/s^2
1	10	10	10	50	10	1 000	0,1	33,8
2 a	5	0,4	11	15	4,0	200	0,1	11,0
2 b	5	0,15	12	18	0,9	200	0,07	6,7
2 c	5	0,15	10	15	1,9	200	0,15	10,0
3 a	5	1,86	5	20	1,86	150	0,034	7,8
3 b	5	0,9	5	20	0,9	150	0,016	5,4
3 c	5	0,37	5	20	0,37	150	0,0067	3,5
4 a	5	1,49	10	100	11,8	250	1,9	42,4
4 b	5	0,33	10	100	2,62	250	0,42	20,0
4 c	5	1,13	10	100	8,96	250	1,44	37,0
5 a	10	68,6	20	100	545	500	22	300
5 b	10	13,9	20	100	110	500	4,45	135
5 c	10	55,5	20	100	441	500	17,84	270

Spectrum A.4 Equipment installed in airplanes and helicopters

For details see specifications referenced in the Tables A.7 and A.8 below.



IEC 586/08

Figure A.4 – Equipment installed in airplanes and helicopters

Table A.7 – Categories for spectrum: equipment in airplanes and helicopters

Category	Description	Suggested time per axis	axes	Specification/ Reference
No.		h	No.	
1 a	Fixed wing turbojet or turbofan engines (subsonic & supersonic).	1	3	RTCA DO-160D
	Fuselage.	1	3	
1 b	NOTE Fuselage, except structure parts; directly subjected to the engine; standard.	1	3	
	Fuselage.	1	3	
	NOTE Fuselage, except structure parts; directly subjected to the engine; robust.	1	3	
1 c	Instrument panel, console & equipment rack.	1	3	
1 d	Wing & wheel well, empennage.	1	3	
	NOTE Engine pods, pylons, wings, empennages, landing gear bays.			
2	Propeller aircraft.	1	3	
	Helicopter			
3 a	Except drive elements.	1	3	
3 b	Drive elements.	1	3	

Table A.8 – Break points for spectrum: equipment in airplanes and helicopters

Cat.	f_1	$ASDf_1$	f_a	f_b	$ASDf_a, f_b$	f_c	f_d	$ASDf_c, f_d$	f_2	$ASDf_2$	$a_{r.m.s.}$ value
No.	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	m/s ²
1 a	10	1,2	10	40	1,2	52	500	2,0	2 000	0,13	41,4
1 b	10	2,4	10	40	2,4	52	500	4,0	2 000	0,25	58,3
1 c	10	1,2	10	40	1,2	100	500	0,2	2 000	0,0126	14,9
1 d	10	4,0	10	100	4,0	200	500	8,0	2 000	0,5	79,7
2	10	2,4	10	40	2,4	52	500	4,0	2 000	0,25	58,3
3 a	5	0,2	70	300	2,0	500	500	2,0	500	0,2	26,0
3 b	10	0,012	150	2 000	2,58	2 000	2000	2,58	2 000	2,58	70,0

Annex B (informative)

Guidance

B.1 General introduction

To achieve reproducibility is not easy. Because of the statistical nature of the random signal, the complex response of the specimen and the errors arising from the analysing process, it is not possible to predict with certainty whether the true acceleration spectral density of the random input at the specimen will match the indicated acceleration spectral density at the specimen within a predefined set of tolerances. A complex, time-consuming analysis after the test is required, as estimation on line is not possible.

The performance of most digital vibration control equipment likely to be employed for random vibration testing can be expected to be similar. Using some selectable parameters of the vibration control equipment, a preliminary calculation can be made to estimate the statistical accuracy associated with the difference between the indicated and the true acceleration spectral density. This does not take into account other sources of uncertainty as defined in ISO/IEC 17025 which refers to ENV 13005, Guide to the expression of uncertainty in measurement. These parameters, which are dependent on each other, can therefore be chosen so that an optimum similarity between the two acceleration spectral densities is achieved.

Equalization of the specified acceleration spectral density requires several repetitions of the control loop, the duration depending on several factors, such as hardware configuration, total system transfer function, shape of the specified acceleration spectral density, control algorithm and test parameters, which can be adjusted prior to the test. The relevant test parameters are: maximum analysing frequency, frequency resolution and drive signal clipping.

The control algorithm of the random vibration involves a compromise between control accuracy and control loop time, which is affected, for example, by the number of records per loop. High control accuracy requires more input data and therefore longer loop times and slower response to dynamic changes in the actual acceleration spectral density. Also, the frequency resolution has great influence on the errors and the loop time. Normally a narrow resolution bandwidth yields a higher control accuracy but a longer control loop time. In order to minimize the deviation between the true and the indicated acceleration spectral density at the specimen, optimization of the mentioned test parameters is required.

A vibration response investigation gives essential information about the specimen/vibrator interaction. For example, this investigation could reveal excessive test fixture vibration amplification or coincident resonance between fixture and specimen. It is therefore recommended that prior to mounting a specimen in its fixture a dynamic response survey or modal test be performed on the fixture and necessary modifications performed to avoid putting unrealistic loads into the specimen.

B.2 Requirements for testing

B.2.1 Single-point and multipoint control

The test requirements are confirmed by the acceleration spectral density computed from the random signal measured at the reference point.

For stiff or small-size specimens, for example in component testing, or if it is known that the dynamic influence of the specimen is low and the test fixture is stiff in the test frequency range there need only be one checkpoint, which then becomes the reference point.

In the case of large or complex specimens, for example equipment with well-spaced fixing points, either one of the checkpoints, or some other point is specified for reference. For a fictitious point, the acceleration spectral density is computed from the random signals measured at the checkpoints. It is recommended that for large and/or complex specimens a fictitious point is used.

B.2.1.1 Single-point control

Measurements are made at one reference point and the indicated acceleration spectral density is directly compared with the specified acceleration spectral density.

B.2.1.2 Multipoint control

When multipoint control is specified or necessary, two frequency domain control strategies are available.

B.2.1.2.1 Averaging strategy

In this method the acceleration spectral density is computed from the signal of each checkpoint. A composite acceleration spectral density is found by arithmetically averaging the acceleration spectral density of these checkpoints.

The arithmetically averaged acceleration spectral density is then compared to the specified acceleration spectral density.

B.2.1.2.2 Extremal strategy

In this method, a composite acceleration spectral density is computed from the maximum or the minimum extreme value of each frequency line of the acceleration spectral density measured at each checkpoint. This method is also called 'maximum' or 'minimum' strategy, because it produces an acceleration spectral density which represents the envelope of the acceleration spectral densities of each checkpoint.

B.2.2 Distribution

B.2.2.1 Distribution of the instantaneous values

The distribution of the instantaneous values of the random drive signal employed during the testing is known as the normal or Gaussian distribution, and is defined by the equation:

$$p(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2(\chi/\sigma)^2} \quad (\text{B.1})$$

where

$p(\chi)$ is the probability density;

σ is the r.m.s. value of the drive signal = standard deviation;

χ is the instantaneous random drive signal value.

The mean value of the random drive signal time history is assumed to be zero.

The normal probability density function for random is shown in Figure 2.

B.2.2.2 Crest factor

The crest factor characterises the distribution of the excitation (control) signal by the ratio of the maximum of the instantaneous value to the r.m.s. value (see also Figure 2).

The crest factor can only be applied to the digital vibration control system output drive signal, since non-linearities in the system, that is power amplifier, vibrator, test fixture and specimen, may modify the random waveform at the checkpoint. These non-linearities over a wide frequency band are generally beyond any control.

The crest factor is required by this standard to be not less than 2,5 (see also 4.6.2). For normally distributed random amplitudes, if the crest factor of 2,5 is used, approximately 99 % of all instantaneous drive values are applied to the power amplifier.

B.2.3 Initial and final slope

This standard calls for a shaped or flat acceleration spectral density that is specified between f_1 and f_2 (see spectra A.1 to A.4). However, a practical test can only be run with an initial and final slope. In order to keep the r.m.s. value of acceleration as close as possible to the specified values, the slopes should be as steep as possible.

Normally the initial slope should be not less than 6 dB/octave. In circumstances where the acceleration spectral density level at f_1 is high, and it is necessary to reduce displacement amplitudes to be compatible with vibration facility capabilities, then the initial slope may be increased.

In general, digital vibration control equipment has a dynamic range for the acceleration spectral density of the order of 8 dB between two adjacent frequency lines. To achieve a steeper slope, it may be necessary to employ a narrower frequency resolution B_e than originally defined. If this is not possible, or the maximum achievable slope does not produce the required reduction in displacement, the negative acceleration spectral density tolerance value may need to be modified in the lower frequency range.

These problems do not apply to the final slope above f_2 . This slope should be equal to -24 dB/octave or steeper.

B.3 Testing procedures

Where the test is simply to demonstrate the ability of a specimen to survive and operate at the appropriate excitation levels, 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 is to be demonstrated, for example fatigue and mechanical deformation, the test should be of a sufficient duration to accumulate the necessary stress cycles, although this may give a duration outside the values specified in 5.4.

For endurance testing of an equipment normally mounted on isolators, the isolators are usually fitted. If it is not possible to perform the test with the appropriate isolators, for example if the equipment is installed together with other equipment on a common mounting device, the equipment may be tested without them with a prescribed different severity. The severity should be determined by taking into account the transmissibility of the isolating system in each axis used for the test. When the characteristics of the isolators are not known, reference should be made to B.4.1.

The relevant specification may require an additional test on a specimen with the external 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 prescribed by the relevant specification.

B.4 Equipment normally used with vibration isolators

B.4.1 Transmissibility factors for isolators

IEC 60068-2-47 provides a full description of what to do for situations where testing should be conducted with isolators but they are not available for test.

B.4.2 Temperature effect

It is important to note that many isolators contain material whose mechanical properties may be temperature sensitive. If the fundamental resonance frequency of the specimen on the isolators is within the test frequency range, caution needs to be exercised in deciding the length of time for which any excitation should be applied. However, under some circumstances it may be unreasonable to apply excitation continuously 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 excessive overheating should be avoided by limiting the periods of excitation in a manner that will require engineering judgement.

B.5 Test severities

The frequency range and acceleration spectral density given have been selected to cover a wide range of applications. When an item is for use in one application only, it is preferable to base the severity on the vibration characteristics of the real environment if known.

Wherever possible, the test severity applied to the specimen should be related to the environment to which the specimen will be subjected, during either transportation or operation or to the design requirements if the object of the test is to assess mechanical robustness.

When determining the test severity, consideration should be given to the possible need to allow an adequate safety margin between the test severity and the conditions of the real environment.

B.6 Equipment performance

When appropriate, specimens should be operated either throughout the test or at appropriate phases of the test, in a manner representative of their functioning conditions.

For specimens in which vibration may influence the switch-on and switch-off function, for example interfering with the operation of a relay, such functioning should be repeated to demonstrate a satisfactory performance in this respect during the test.

If the test is to demonstrate survival only, the functional performance of specimens should be assessed after the completion of the vibration test.

B.7 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.

Bibliography

IEC 61373:1999, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

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

ENV 13005:1999, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*

ETSI EN 300 019-2-3: *Environmental Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment – Part 2-3: Specification of environmental tests; Stationary use at weather-protected locations*

ETSI EN 300 019-2-7: *Environmental Engineering (EE); Environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment – Part 2-7: Specification of environmental tests; Portable and non-stationary use*

MILSTD810F:2000, *Test method standard for environmental engineering considerations and laboratory tests*

RTCA DO160D:1997, *Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	38
INTRODUCTION	40
1 Domaine d'application	41
2 Références normatives	41
3 Termes et définitions	42
4 Exigences pour l'appareillage d'essai	46
4.1 Généralités	46
4.2 Mouvement fondamental	47
4.3 Mouvement d'axe transversal	47
4.4 Montage du spécimen	47
4.5 Systèmes de mesure	48
4.6 Tolérances sur les vibrations	48
4.7 Technique de pilotage	51
4.8 Recherche et étude des fréquences critiques	52
5 Sévérités	52
5.1 Gamme de fréquence d'essai	52
5.2 Valeur efficace de l'accélération	53
5.3 Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération	53
5.4 Durée d'essai	53
6 Préconditionnement	53
7 Mesures initiales et essai de performance de fonctionnement	53
8 Epreuve	53
8.1 Généralités	53
8.2 Recherche et étude initiales des fréquences critiques	54
8.3 Excitation à bas niveau pour l'égalisation avant l'épreuve	55
8.4 Epreuve aléatoire	55
8.5 Recherche et étude finales des fréquences critiques	56
9 Reprise	56
10 Mesures finales et essai de performance de fonctionnement	56
11 Renseignements que doit donner la spécification particulière	56
12 Renseignements à fournir dans le rapport d'essai	57
Annexe A (informative) Spectres d'essai normalisés	59
Annexe B (informative) Guide	66
Bibliographie	71
Figure 1 – Bandes de tolérance pour la densité spectrale d'accélération; pente initiale et finale (voir B.2.3)	48
Figure 2 – Accélérogramme de l'excitation stochastique; fonction de la densité de probabilité avec distribution (normale) gaussienne (Exemple avec le facteur de crête = 3, voir aussi 3.14 et 4.6.2)	49

Figure 3 – Précision statistique de la densité spectrale d'accélération par rapport aux degrés statistiques de liberté pour différents niveaux de confiance (voir aussi 4.6.3) 50

Tableau A.1 – Catégories pour le spectre: transport 59

Tableau A.2 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: transport 60

Tableau A.3 – Catégories pour le spectre: installations fixes..... 61

Tableau A.4 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: installations fixes 61

Tableau A.5 – Catégories pour le spectre: matériels dans les véhicules à roues 62

Tableau A.6 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: matériels dans les véhicules à roues..... 63

Tableau A.7 – Catégories pour le spectre: matériels dans les avions et les hélicoptères..... 64

Tableau A.8 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: matériels dans les avions et les hélicoptères 65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT -

**Partie 2-64: Essais – Essai Fh: Vibrations aléatoires
à large bande et guide**

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 60068-2-64 a été établie par le comité d'études 104 de la CEI: Conditions, classification et essais d'environnement.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, publiée en 1993, et constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente concernent le retrait de la Méthode 1 et de la Méthode 2, remplacées par une méthode unique, et remplacement de l'Annexe A par des spectres d'essais préconisés et le retrait de l'Annexe C.

Aussi inclus dans cette révision, l'essai des spécimens avec emballages mous.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
104/456/FDIS	104/459/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.

Elle a le statut de publication fondamentale de sécurité, conformément au Guide CEI 104.

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.

INTRODUCTION

Cette partie de la CEI 60068 traite des essais de vibrations aléatoires à large bande et est prévue pour des applications générales à des composants, matériels et autres produits, désignés dans la suite du texte par le terme « spécimens », qui peuvent être soumis à des vibrations de nature stochastique. Les méthodes et techniques de cette norme sont basées sur l'asservissement numérique des vibrations aléatoires. Il permet l'introduction de variations convenant à des cas individuels lorsque ceux-ci sont prescrits par la spécification particulière.

Comparé à la plupart des autres essais, l'essai Fh est basé sur des techniques non pas déterministes mais statistiques. L'essai aux vibrations aléatoires à large bande est donc décrit en termes de probabilités et de moyennes statistiques.

Il est à noter que l'essai aléatoire exige toujours un certain niveau de compétence en ingénierie et il convient que le fournisseur et l'acheteur en soient parfaitement conscients. Le rédacteur d'une spécification particulière doit choisir la procédure d'essai et les valeurs de sévérité appropriées au spécimen et à son utilisation.

Cette méthode d'essai est essentiellement fondée sur l'utilisation d'un générateur de vibrations électrodynamique ou servo-hydraulique avec système de commande informatisé associé qui est utilisé comme moyen d'essai de vibrations.

Les Annexes A et B sont des annexes informatives présentant des exemples de spectres d'essai pour différentes conditions d'environnement, une liste des renseignements à prendre en compte dans les spécifications et le guide.

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT -

Partie 2-64: Essais - Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande et guide

1 Domaine d'application

Cette partie de la CEI 60068 a pour objet de démontrer la capacité des spécimens à résister aux charges dynamiques sans dégradation inacceptable de leur intégrité de fonctionnement et/ou de structure, lorsqu'ils sont soumis à des exigences d'essais de vibrations aléatoires spécifiées.

L'essai de vibration aléatoire à large bande peut être utilisé pour identifier les effets de contraintes accumulées ainsi que la faiblesse et la dégradation mécaniques résultantes de la performance spécifiée. Ces informations, conjointement avec la spécification particulière, peuvent être utilisées pour évaluer l'acceptabilité des spécimens.

Cette norme est applicable à des spécimens qui peuvent être soumis à des vibrations de nature stochastique dues au transport ou à l'environnement rencontré en service, par exemple, à bord d'avions et de véhicules spatiaux ou à bord de véhicules terrestres. Elle est destinée en premier lieu à des spécimens non emballés et à des objets dans leur emballage de transport lorsque celui-ci peut être considéré comme faisant partie du spécimen lui-même. Cependant, si l'article est emballé alors l'article lui-même est désigné comme produit et l'article ainsi que son emballage sont désignés comme spécimen d'essai. Cette norme peut être utilisée conjointement avec la CEI 60068-2-47:2005, pour l'essai des produits emballés.

Si les spécimens sont soumis à des vibrations d'une combinaison de nature aléatoire et déterministe résultant du transport ou des environnements de la vie réelle, par exemple à bord d'avions, de véhicules spatiaux et pour des éléments dans leur emballage de transport, les essais purement aléatoires peuvent ne pas être suffisants. Voir la CEI 60068-3-8:2003 pour l'estimation de l'environnement de vibrations dynamiques du spécimen et sur cette base, pour la sélection de la méthode d'essai appropriée.

Bien qu'elle soit destinée en premier lieu à des spécimens électrotechniques, cette norme ne s'applique pas seulement à ceux-ci et peut être utilisée dans d'autres domaines, si on le désire (voir l'Annexe A).

2 Références normatives

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

CEI 60050-300: *Vocabulaire Electrotechnique International - Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques - Partie 311: Termes généraux concernant les mesures - Partie 312: Termes généraux concernant les mesures électriques - Partie 313: Types d'appareils électriques de mesure - Partie 314: Termes spécifiques selon le type d'appareil*

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

CEI 60068-2-6: *Essais d'environnement - Partie 2-6: Essais - Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-47:2005, *Essais d'environnement – Partie 2-47: Essais – Fixation de spécimens pour essais de vibrations, d'impacts et autres essais dynamiques*

CEI 60068-3-8:2003, *Essais d'environnement – Partie 3-8: Documentation d'accompagnement et lignes directrices – Sélection d'essais de vibrations*

CEI 60068-5-2:1990, *Essais d'environnement – Partie 5-2: Guide pour la rédaction des méthodes d'essais – Termes et définitions*

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

Guide CEI 104, *Elaboration des publications de sécurité et utilisation des publications fondamentales de sécurité et publications groupées de sécurité*

ISO 2041: *Vibrations et chocs – Vocabulaire*

3 Termes et définitions

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

NOTE Les termes utilisés sont généralement ceux qui sont définis dans la CEI 60050-300, la CEI 60068-1, la CEI 60068-2-6, la CEI 60068-5-2 et l'ISO 2041. Si une définition émanant de l'une de ces sources est incluse ici, cette provenance est citée et les différences par rapport à ces définitions sont également indiquées.

3.1

mouvement d'axe transversal

mouvement n'étant pas dans le sens du stimulus; généralement spécifié dans les deux axes orthogonaux en direction du stimulus

NOTE Il convient de mesurer le mouvement d'axe transversal près des points de fixation.

3.2

mouvement réel

mouvement représenté par le signal large bande de retour du transducteur au point de référence

3.3

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 lorsqu'il est utilisé

NOTE Si une partie de la structure normale de montage est utilisée comme bâti, les points de fixation sont pris comme étant ceux de la structure de montage et non ceux du spécimen.

3.4

méthodes de pilotage

3.4.1

asservissement en un seul point

méthode d'asservissement utilisant le signal du transducteur au point de référence afin de maintenir ce point au niveau de vibrations spécifié

3.4.2

asservissement à partir de plusieurs points

méthode d'asservissement utilisant les signaux de chacun des transducteurs 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 aussi 3.13.

3.5

g_n

accélération normalisée due à la pesanteur, qui varie elle-même en fonction de l'altitude et de la latitude

NOTE Pour les besoins de cette norme, la valeur de g_n est arrondie au nombre entier le plus proche, c'est à dire 10 m/s².

3.6

points de mesure

points particuliers où des données sont recueillies pour réaliser l'essai

NOTE Ces points sont de trois types comme défini de 3.7 à 3.9.

3.7

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 d'essai sont remplies.

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 des cas particuliers, par exemple pour des spécimens de grande taille ou complexes, les points de vérification seront prescrits par la spécification particulière s'ils ne sont pas à proximité des points de fixation.

NOTE 4 Lorsqu'un grand nombre de spécimens de petite taille sont montés sur un seul bâti ou dans le cas d'un petit spécimen, ou il existe un nombre de points de fixation, il est admis de choisir un seul point de vérification (qui est le point de référence) pour déduire le signal de pilotage. Ce signal est donc plutôt lié au bâti qu'aux points de fixation du ou des spécimen(s). Cela n'est valable que lorsque la plus basse fréquence de résonance du support chargé est située nettement au-dessus de la limite supérieure de la fréquence de l'essai.

3.8

point de référence (asservissement en un seul point)

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

3.9

point de référence fictif (asservissement à partir de plusieurs points)

point, déduit de plusieurs points de vérification soit manuellement soit automatiquement, dont le résultat est utilisé pour piloter l'essai, manière à satisfaire aux exigences de cette norme

3.10

points de réponse

points spécifiques du spécimen d'où les données sont collectées pour les besoins de la recherche et de l'étude des fréquences critiques

NOTE Ces points ne sont pas les mêmes que les points de vérification ou de référence.

3.11

axes préférentiels d'essai

trois axes orthogonaux correspondant aux axes les plus vulnérables du spécimen

3.12

fréquence d'échantillonnage

nombre de valeurs discrètes de l'amplitude prises par seconde pour enregistrer ou représenter un accélérogramme sous forme numérique

3.13

techniques d'asservissement en plusieurs points

méthode de calcul du signal d'asservissement de référence lorsque l'on utilise l'asservissement en plusieurs points

NOTE D' autres techniques d'asservissement dans le domaine fréquentiel sont abordées en 4.7.1.

3.14

moyennage

processus de détermination de la densité spectrale d'accélération d'asservissement effectué à partir de la moyenne arithmétique des densités spectrales d'accélération de chaque raie de fréquences provenant des points de vérification

3.15

technique des extrêmes (maximum or minimum)

processus de détermination de la densité spectrale d'accélération d'asservissement effectué à partir de la densité spectrale d'accélération maximale ou minimale de chaque raie de fréquences provenant des points de vérification

3.16

facteur de crête

rapport de la valeur de crête à la valeur efficace (moyenne quadratique) de l'accélérogramme

[ISO 2041]

3.17

bande passante à -3 dB

largeur de bande entre deux points dans une fonction de réponse en fréquence qui sont à 0,707 de la réponse maximale lorsqu'elle est associée à un seul pic de résonance

3.18

densité spectrale accélératrice

ASD

moyenne des carrés des valeurs de la partie d'un signal d'accélération après passage dans un filtre à bande étroite de fréquence centrale déterminée, par unité de largeur de bande, lorsque cette largeur de bande tend vers zéro et que la durée prise en compte pour le calcul de la moyenne tend vers l'infini

3.19

densité spectrale accélératrice d'asservissement

densité spectrale de l'accélération mesurée au point de référence ou au point de référence fictif

3.20

boucle d'asservissement

somme des actions suivantes:

- numérisation de l'onde analogique du signal provenant du point de référence ou du point de référence fictif;
- exécution des traitements nécessaires;
- production d'une onde d'excitation analogique résultante vers l'amplificateur de puissance du système de vibrations (voir l'Article B.1)

3.21**écrêtage du signal d'excitation** (voir aussi Figure 1)

limitation du facteur de crête maximum de la bande de fréquences effectives du signal d'excitation

3.22**bande de fréquences effectives** (voir également la Figure 1)

gamme de fréquences comprise entre 0,5 fois f_1 et 2,0 fois f_2

NOTE Du fait des pentes initiale et finale, la bande de fréquences effectives est supérieure à la bande de fréquences d'essais entre f_1 et f_2 .

3.23**erreur sur la densité spectrale d'accélération**

différence entre la densité spectrale d'accélération spécifiée et la densité spectrale d'accélération d'asservissement

3.24**égalisation**

minimisation de l'erreur sur la densité spectrale d'accélération

3.25**pente finale** (voir aussi Figure 1)

partie de la densité spectrale de l'accélération au-dessus de f_2

3.26**résolution en fréquence**

B_e

largeur des intervalles de fréquence de la densité spectrale d'accélération exprimée en Hertz

NOTE Elle est égale à l'inverse de la durée de l'acquisition numérique (T); le nombre de raies de fréquence est égal au nombre d'intervalles dans une bande de fréquences donnée

3.27**densité spectrale accélératrice indiquée**

estimation de la densité spectrale d'accélération vraie provenant de l'analyseur, déformée par les erreurs instrumentales et l'erreur aléatoire

3.28**pente initiale** (voir aussi Figure 1)

partie de la densité spectrale de l'accélération au-dessous de f_1

3.29**erreur instrumentale**

erreur associée à chaque composant analogique présent à l'entrée du système d'asservissement et aux composants analogiques du système d'asservissement

3.30**erreur aléatoire**

erreur sur la densité spectrale d'accélération changeant d'une estimation à une autre, et provoquée par la limitation, en pratique, de la durée de calcul de la moyenne et de la bande passante du filtre

3.31**enregistrement**

collecte de points de donnée, également espacés dans le domaine du temps, qui sont utilisés dans le calcul de la Transformée de Fourier Rapide

3.32

reproductibilité

étroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages de la même valeur de la même quantité, lorsque les mesurages individuels sont effectués

- par différentes méthodes,
- avec différents instruments de mesure,
- par différents observateurs,
- dans différents laboratoires,
- après un intervalle de temps long vis-à-vis du temps d'un seul mesurage,
- sous différentes conditions usuelles d'utilisation des instruments employés

NOTE Le terme "reproductible" peut être aussi employé dans le cas où quelques-unes seulement des conditions précédentes sont prises en compte.

[CEI 60050-300, modifiée]

3.33

valeur quadratique moyenne (voir aussi Figure 2)

valeur quadratique moyenne (valeur efficace) d'une fonction à une seule variable dans un intervalle entre deux fréquences est la racine carrée de la moyenne des carrés des valeurs de toutes les fonctions dans l'intervalle de fréquence total f_1 et f_2

3.34

écart type, σ (voir aussi Figure 2)

dans le domaine des vibrations, la valeur moyenne est égale à zéro; de ce fait, pour un accélérogramme aléatoire, l'écart type est égal à la valeur efficace

3.35

précision statistique

rapport de la densité spectrale d'accélération vraie à la densité spectrale d'accélération indiquée

3.36

degrés de liberté statistiques (voir aussi Figure 3)

DOF

pour l'estimation de la densité spectrale d'accélération de données aléatoires à l'aide d'une technique de moyennes temporelles, le nombre réel de degrés de liberté statistiques est dérivé de la résolution en fréquence et de la durée réelle sur laquelle est calculée la moyenne

3.37

gamme de fréquences d'essai

bande de fréquences entre f_1 et f_2 (voir Figure 1) dans laquelle l'ASD est constante ou dont la forme est celle indiquée dans la spécification correspondante

3.38

densité spectrale accélétratrice vraie

densité spectrale réelle du signal aléatoire agissant sur le spécimen

4 Exigences pour l'appareillage d'essai

4.1 Généralités

Les caractéristiques requises s'appliquent au système complet de vibrations comprenant l'amplificateur de puissance, la table vibrante, le bâti de fixation, le spécimen et le système d'asservissement, le tout chargé, prêt à l'essai.

La méthode d'essai normalisée est constituée de la séquence d'essai suivante normalement appliquée dans chacun des axes perpendiculaires du spécimen d'essai:

- 1) Une recherche et une étude initiales des fréquences critiques, avec une excitation sinusoïdale à bas niveau, ou une excitation aléatoire à bas niveau, (voir 8.2).
- 2) L'excitation aléatoire comme la charge mécanique ou l'essai de contrainte.
- 3) Une recherche et une étude finales des fréquences critiques en vue de comparer les résultats avec la recherche et l'étude initiale et en vue de détecter les défaillances mécaniques éventuelles en raison d'un changement du comportement dynamique (voir 8.2 et 8.5).

Là où le comportement dynamique est connu et n'est pas considéré comme pertinent, ou des données suffisantes peuvent être recueillies pendant l'essai au niveau complet, la spécification correspondante peut ne pas exiger des recherches et études des fréquences critiques avant ou après essai.

4.2 Mouvement fondamental

Le mouvement fondamental des points de fixation du spécimen doit être prescrit par la spécification correspondante. Les points de fixation doivent avoir des mouvements sensiblement identiques en phase et amplitude et doivent être rectilignes par rapport au sens d'excitation. Si des mouvements sensiblement identiques ne peuvent pas être obtenus, on doit utiliser un asservissement à partir de plusieurs points.

NOTE Pour de grandes structures et une gamme de fréquences élevées, par exemple 20 Hz – 2 000 Hz, la dynamique du spécimen d'essai est susceptible de nécessiter un asservissement à partir de plusieurs points.

4.3 Mouvement d'axe transversal

Il convient de vérifier le mouvement d'axe transversal, si la spécification correspondante l'exige, soit avant d'appliquer l'essai en réalisant une recherche et une étude sinusoïdale ou aléatoire à un niveau prescrit par la spécification correspondante, ou pendant l'essai en utilisant des voies de surveillance supplémentaires dans les deux axes perpendiculaires.

La valeur ASD de chaque fréquence aux points de vérification dans les deux axes perpendiculaires à l'axe spécifié, ne doit pas dépasser les valeurs ASD spécifiées supérieures à 500 Hz et en dessous de 500 Hz ne doit pas dépasser -3 dB des valeurs ASD spécifiées. La valeur efficace totale d'accélération dans les deux axes perpendiculaires à l'axe spécifié ne doit pas être supérieure à 50 % de la valeur efficace pour l'axe spécifié. Par exemple pour un petit spécimen, la valeur ASD du mouvement d'axe transversal admissible peut être limitée de manière à ne pas dépasser -3 dB du mouvement fondamental, si la spécification correspondante le prescrit.

A certaines fréquences, ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Egalement, dans les cas où la spécification correspondante exige des sévérités avec une gamme dynamique importante, il peut être difficile de les obtenir. Dans de tels cas, la spécification particulière doit indiquer laquelle des exigences suivantes s'applique:

- a) noter dans le rapport d'essai tout mouvement d'axe transversal dépassant les limites ci-dessus;
- b) tout mouvement d'axe transversal ne présentant aucun risque pour le spécimen ne nécessite pas d'être contrôlé.

4.4 Montage du spécimen

Le spécimen doit être monté conformément à la CEI 60068-2-47. Dans tous les cas, la courbe de transmissibilité choisie à partir de la CEI 60068-2-47 doit être au carré avant multiplication avec le spectre ASD.

4.5 Systèmes de mesure

Les caractéristiques du système de mesure doivent permettre de déterminer si la valeur vraie de la vibration telle qu'elle est mesurée selon l'axe prévu au point de référence se situe dans les limites des tolérances exigées pour l'essai.

La réponse en fréquence du système de mesure complet, qui inclut le transducteur, le conditionneur de signal et le dispositif d'acquisition et de traitement des données a un effet significatif sur la précision des mesures. La gamme de fréquences du système de mesure doit s'étendre au moins de 0,5 fois la limite inférieure de la fréquence (f_1) à 2,0 fois la limite supérieure de la fréquence (f_2) de la gamme de fréquences d'essai (voir Figure 1). La réponse en fréquence du système de mesure doit être plate dans les limites de ± 5 % de la gamme de fréquences d'essai. En dehors de cette gamme tout écart supplémentaire doit être indiqué dans le rapport d'essai.

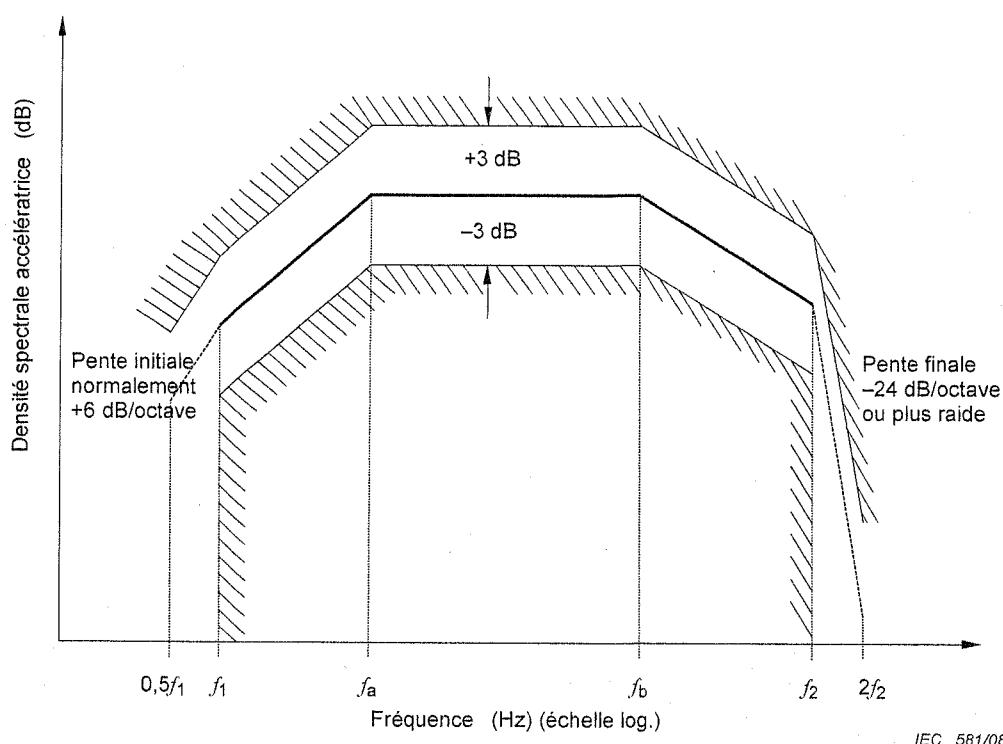


Figure 1 – Bandes de tolérance pour la densité spectrale d'accélération; pente initiale et finale (voir B.2.3)

4.6 Tolérances sur les vibrations

4.6.1 ASD et valeur efficace

La densité spectrale d'accélération indiquée dans l'axe demandé au point de référence, entre f_1 et f_2 de la Figure 1, doit être égale à la densité spectrale d'accélération spécifiée à ± 3 dB près, du fait de l'erreur d'instrumentale et de l'erreur aléatoire.

La valeur efficace de l'accélération calculée ou mesurée entre f_1 et f_2 , ne doit pas s'écarter de plus de 10 % de la valeur efficace associée à la densité spectrale de l'accélération spécifiée. Ces valeurs sont applicables pour le point de référence et le point de référence fictif.

A certaines fréquences ou pour des spécimens volumineux ou lourds, il peut être difficile de respecter les valeurs données plus haut. Dans ces cas, la spécification particulière doit prescrire une tolérance plus large.

La pente initiale ne doit pas faire moins de +6 dB/octave et la pente finale doit être de -24 dB/octave, ou plus (voir également B.2.3).

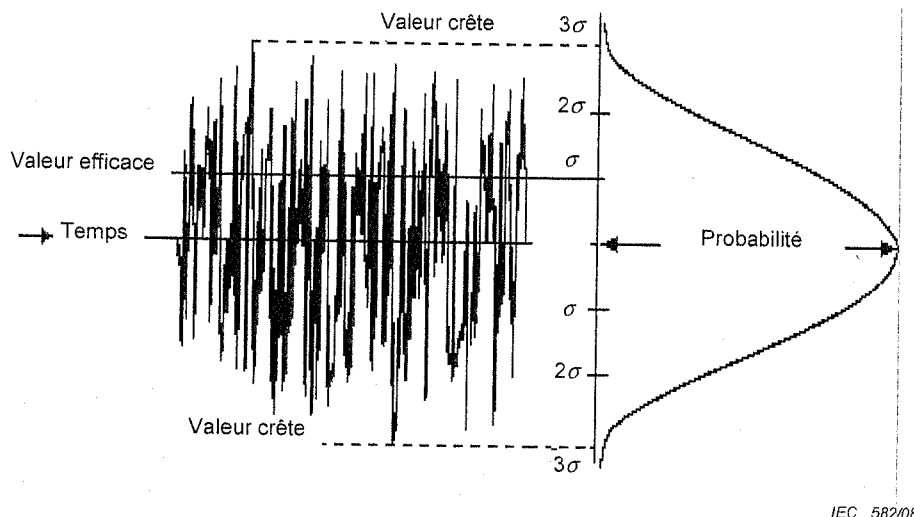
4.6.2 Distribution

Les valeurs d'accélération instantanée au point de référence doivent avoir une distribution (gaussienne) approximativement normale telle que donnée à la Figure 2. Si on le souhaite explicitement, une validation doit être réalisée durant la période de calibration normale du système (voir B.2.2).

L'écrêtage du signal d'excitation doit comporter une valeur d'au moins 2,5 (voir 3.16). Le facteur de crête du signal d'accélération au point de référence doit être examiné pour s'assurer que le signal contient des crêtes d'au moins 3 fois la valeur efficace spécifiée, sauf indication contraire dans la spécification correspondante.

Si un point de référence fictif est utilisé pour le pilotage, l'exigence sur la le facteur de crête s'applique à chaque point individuel de vérification utilisé pour constituer la densité spectrale d'accélération d'asservissement.

La fonction de la densité de probabilité doit être calculée pour le point de référence pour une durée de 2 min pendant l'essai. L'écart admissible par rapport à la distribution normale, Figure 2, doit être prescrit dans la spécification correspondante.



IEC 582/08

**Figure 2 – Accélérogramme de l'excitation stochastique;
fonction de la densité de probabilité avec distribution (normale) gaussienne
(exemple avec le facteur de crête = 3, voir aussi 3.14 et 4.6.2)**

4.6.3 Précision statistique

La précision statistique est déterminée à partir du nombre de degrés de liberté statistiques N_d et du niveau de confiance (voir également la Figure 3). Les degrés de liberté statistiques sont donnés par:

$$N_d = 2B_e \times T_a \quad (1)$$

où

B_e est la résolution de fréquence;

T_a est la durée réelle sur laquelle est calculée la moyenne.

N_d ne doit pas être inférieur à 120 DOF, sauf indication contraire dans la spécification correspondante. Si la spécification correspondante indique des niveaux de confiance à satisfaire pendant l'essai, il convient d'utiliser la Figure 3 pour calculer la précision statistique.

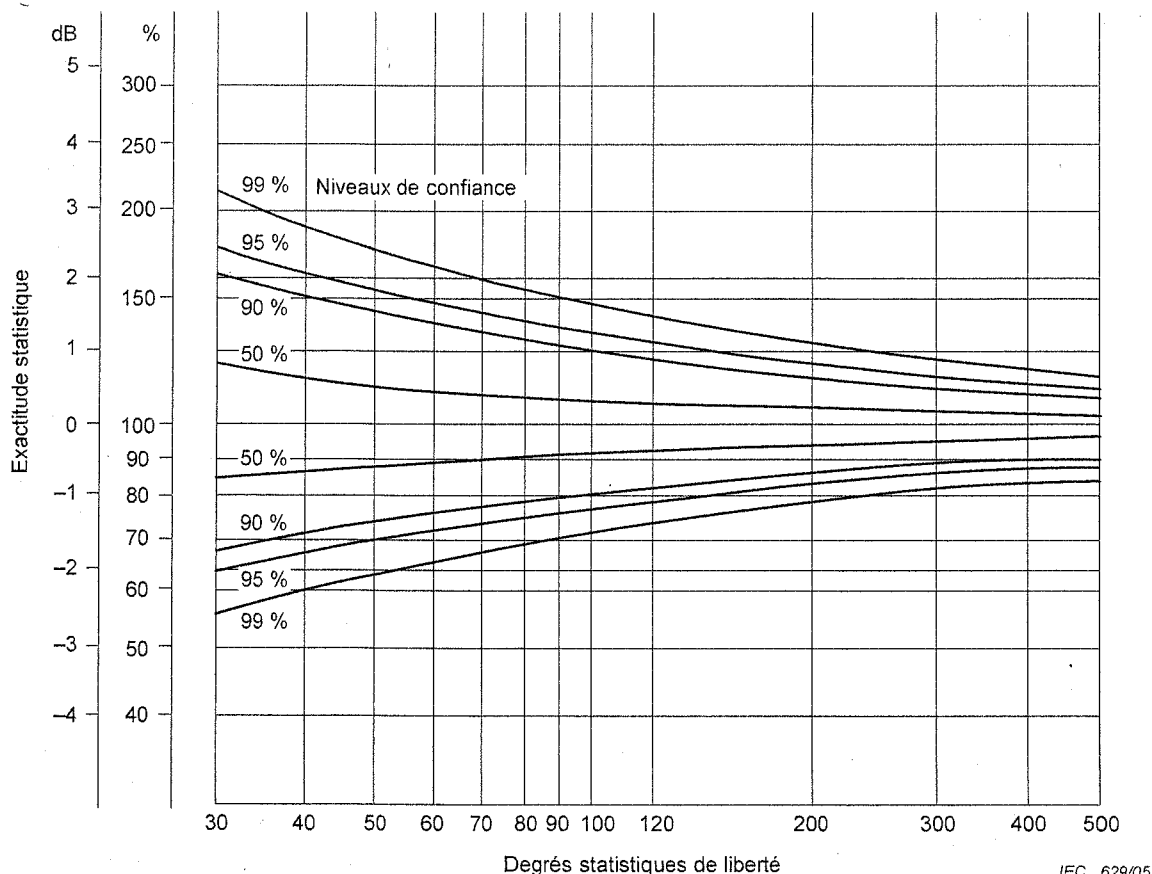


Figure 3 – Précision statistique de la densité spectrale d'accélération par rapport aux degrés statistiques de liberté pour différents niveaux de confiance (voir aussi 4.6.3)

4.6.4 Résolution en fréquences

La résolution en fréquence B_e en Hz nécessaire pour réduire la différence entre la valeur affichée et la valeur vraie de la densité spectrale de l'accélération doit être choisie en prenant la gamme de fréquence du contrôleur numérique divisée par le nombre de raies spectrales (n).

$$B_e = f_{\text{high}}/n \quad (2)$$

où

f_{high} est la gamme de fréquence choisie d'après les informations fournies par le système numérique d'asservissement des vibrations en Hertz; il est recommandé qu'elle soit égale ou supérieure à $2f_2$, c'est-à-dire $f_{\text{high}} \geq 2f_2$, voir la Figure 1;

n est le nombre de raies spectrales réparties de manière égale sur la bande de fréquences jusqu'à f_{high} .

Il convient que le nombre de raies spectrales, n , soit d'au moins 200. La résolution en fréquence doit être donnée dans la spécification correspondante (voir également l'Article 11, point j)) et être indiquée dans le rapport d'essai.

B_e doit être choisie comme étant, au minimum, une raie de fréquences coïncidant avec la fréquence f_1 de la Figure 1 et la première raie de fréquences correspondant à 0,5 de f_1 ; de même que les deux raies de fréquence définissent la pente initiale. Si cela donne deux valeurs différentes, alors la plus petite B_e doit être choisie.

NOTE Il existe un compromis entre l'obtention d'une meilleure B_e donnant lieu à une durée de l'asservissement de la boucle plus longue et une meilleure définition du spectre, et l'obtention d'une B_e plus grossière, donnant lieu à une durée de l'asservissement de la boucle plus courte et une plus mauvaise définition du spectre.

4.7 Technique de pilotage

4.7.1 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.

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 la valeur moyenne des signaux aux points de vérification, ou la valeur extrême des signaux en des points de pilotage sélectionnés. Pour un pilotage à partir de plusieurs points, il convient que la spécification correspondante indique si un spectre brut de chacune des voies de pilotage contribuant au spectre de pilotage soit ajouté au rapport d'essai.

NOTE S'il n'est pas possible de réaliser le pilotage à partir d'un seul point, il convient d'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 est un point de référence fictif. Il convient de préciser la méthode utilisée dans le rapport d'essai.

Les techniques suivantes sont disponibles.

4.7.1.1 Technique de la moyenne

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

4.7.1.2 Technique de la moyenne pondérée

L'ASD de pilotage de chaque fréquence a_c est formée par la moyenne de l'ASD provenant des points de vérification a_1 à a_n conformément à leurs coefficients de pondération w_1 à w_n :

$$a_c = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$

Cette technique de pilotage offre la possibilité que différents signaux de points de vérification contribuent de différentes manières à la valeur du pilotage de chaque fréquence.

4.7.1.3 Technique des extrêmes

Dans cette méthode, une ASD de pilotage composite est calculée à partir des valeurs ASD extrêmes maximales (MAX) ou minimales (MIN) de chaque raie de fréquences mesurée à chaque point de vérification. Cette stratégie permet d'obtenir une valeur de pilotage de chaque fréquence qui représente l'enveloppe des valeurs ASD en fonction de la fréquence à partir de chaque point de vérification (MAX) ou une limite inférieure des valeurs ASD en fonction de la fréquence à partir de chaque de vérification (MIN).

4.7.2 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 au choix:

Limitation: Tous les signaux de pilotage doivent être en dessous de leur spectre de référence approprié.

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

4.8 Recherche et étude des fréquences critiques

La recherche et l'étude des fréquences critiques est une méthode pratique et sensible pour l'évaluation des effets des essais de vibrations, voir la CEI 60068-3-8. Les buts et méthodes pour la recherche et l'étude des fréquences critiques ainsi que leurs avantages sont expliqués dans la CEI 60068-3-8. Les exigences pour l'excitation sinusoïdale sont données dans l'essai Fc (CEI 60068-2-6) et celles pour l'excitation aléatoire sont données dans cette norme.

Dans le cas d'excitation sinusoïdale, il convient de rappeler que, dans le cas de résonances non linéaires, les fréquences de résonance peuvent varier selon le sens de variation de la fréquence d'excitation pendant le balayage. Pour l'excitation aléatoire, des non-linéarités peuvent influencer le comportement des résonances. Pour l'excitation sinusoïdale et aléatoire, l'amplification aux résonances peut dépendre de l'amplitude de la vibration d'excitation.

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

NOTE L'impédance mécanique et autres termes similaires sont définis dans l'ISO 2041.

5 Sévérités

La sévérité de l'essai est la résultante des paramètres suivants:

- la gamme de fréquences d'essai;
- la valeur efficace d'accélération;
- la forme de la densité spectrale d'accélération;
- la durée de l'épreuve.

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

- a) choisies à partir des valeurs données dans le 5.1 au 5.4;
- b) choisies à partir des exemples de l'Annexe A pour différentes conditions d'environnement;
- c) dérivées d'un environnement connu si les valeurs sont significativement différentes; ou
- d) dérivées d'autres sources connues de données particulières (CEI 60721-3, par exemple).

5.1 Gamme de fréquence d'essai

Si l'option a) est choisie, alors f_1 et f_2 peuvent être choisies à partir des valeurs suivantes en Hz:

- a) f_1 : 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100;
b) f_2 : 20; 50; 100; 200; 500; 1 000; 2 000; 5 000.

Les fréquences f_1 et f_2 et leurs relations avec la densité spectrale d'accélération sont indiquées dans les exemples de spectres de l'Annexe A.

5.2 Valeur efficace de l'accélération

Si l'option a) est choisie, alors la valeur efficace d'accélération (valeur nominale de la Figure 1) entre f_1 et f_2 peut être choisie parmi les valeurs suivantes en m/s^2 :

1; 1,4; 2; 2,8; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 35; 50; 70; 100; 140; 200; 280

NOTE La valeur de g_n est prise égale à 10 m/s^2 dans le cadre de cette norme.

5.3 Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération

Cet essai spécifie une courbe de densité spectrale d'accélération comprenant des parties croissantes, décroissantes et constantes (voir les spectres A.1 – A.4). Pour un essai normalisé, un des spectres doit être sélectionné selon l'environnement dynamique du point d'essai. Les valeurs correspondantes de la densité spectrale d'accélération doivent être calculées par le système d'asservissement en prenant en compte la valeur efficace, les fréquences et la forme du spectre. Dans certains cas, il peut être préférable de spécifier une courbe de densité spectrale d'accélération ayant une forme personnalisée. Dans de tels cas, la spécification correspondante doit prescrire la forme en fonction de la fréquence. Les différents niveaux et les bandes de fréquences correspondantes, (points aux fréquences de transfert) doivent être, dans la mesure du possible, choisis parmi les valeurs données en 5.1 et 5.2 et les spectres A.1 – A.4.

5.4 Durée d'essai

La durée de l'essai doit être donnée dans la spécification correspondante ou peut être sélectionnée à partir de la série suivante: 1; 2; 5; 10; 20; 30; 45; 60 min; 2; 5; 8; 12; 24 h avec une tolérance de +5 %.

6 Préconditionnement

Si la spécification particulière prescrit un preconditionnement; elle doit alors en préciser les conditions.

7 Mesures initiales et essai de performance de fonctionnement

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles, ainsi que toute autres vérification prescrites par la spécification particulière.

8 Epreuve

8.1 Généralités

L'essai suit l'ordre prescrit par la spécification correspondante. Les différentes étapes en sont les suivantes::

- la recherche et l'étude initiales des fréquences critiques, si elles sont prescrites;
- l'excitation à bas niveau pour l'égaleisation avant d'entreprendre l'essai de niveau complet dans un mode continu;
- l'épreuve aux vibrations aléatoires;

- la recherche et l'étude initiales des fréquences critiques, si elles sont prescrites.

Sauf exigence contraire dans la spécification particulière, le spécimen doit être excité successivement suivant chacun des axes préférentiels d'essai. Sauf lorsque la spécification particulière le prescrit, l'ordre des essais selon ces axes n'a pas d'importance. Si le spécimen est sensible à la gravité, par exemple un interrupteur d'inclinaison au mercure, alors la vibration peut uniquement être appliquée dans sa position de service normale et elle doit être prescrite par la spécification correspondante.

L'ASD d'asservissement de chaque fréquence au point de référence doit être déterminée à partir d'un point de vérification si l'asservissement en un seul point est utilisé ou à partir du nombre de points de vérification dans le cas d'asservissement en plusieurs points.

Dans le dernier cas, la spécification particulière doit indiquer lequel des points de vérification doit être asservi au niveau spécifié pour les techniques d'asservissement suivantes, (voir aussi 4.7):

- la valeur moyenne de l'ASD de chaque point de vérification (valeur moyenne de pilotage);
- la valeur moyenne pondérée des ASD aux points de vérification (valeur moyenne d'asservissement pondérée); ou
- les valeurs extrêmes maximales ou minimales de chaque fréquence de tous les points de vérification (asservissement des extrêmes).

Dans chacun des cas ci-dessus d'asservissement à partir de plusieurs points, le spectre d'asservissement devient fictif sans référence à un point de vérification existant.

Des dispositions particulières sont à prendre lorsqu'un spécimen, normalement utilisé avec amortisseurs de vibrations, nécessite d'être essayé sans eux. Voir aussi la CEI 60068-2-47.

8.2 Recherche et étude initiales des fréquences critiques

Si elles ne sont pas spécialement prescrites par la spécification particulière, une recherche et une étude des fréquences critiques ne sont pas exigées. Cependant, la spécification particulière peut prescrire une recherche et une étude des fréquences critiques avant, ou avant et à la fin, de l'essai aux vibrations aléatoires.

Si la spécification particulière le prescrit, on doit étudier la réponse dynamique concernant au moins un point sur le spécimen dans la gamme de fréquences spécifiée. Il convient que le nombre et la position des points de mesure soient clairement définis dans la spécification particulière. La recherche et l'étude des fréquences critiques peuvent être réalisées avec une vibration sinusoïdale ou aléatoire dans une gamme de fréquences d'essai et avec un niveau d'essai prescrit par la spécification correspondante. Voir la CEI 60068-2-6 pour les vibrations sinusoïdales et cette norme pour les excitations aléatoires. Voir également la CEI 60068-3-8 pour plus d'informations et les avantages et inconvénients de chaque méthode.

Cette recherche doit être réalisée avec un niveau d'essai choisi de façon à ce que la réponse du spécimen reste inférieure à celle pendant l'épreuve aléatoire, tout en ayant un niveau suffisamment élevé pour détecter les fréquences critiques.

Lorsqu'une excitation sinusoïdale est utilisée, au moins un cycle de balayage dans la gamme de fréquences prescrite par la spécification particulière doit être effectué avec une amplitude d'accélération $\leq 10 \text{ m/s}^2$ ou une amplitude de déplacement de $\pm 1 \text{ mm}$, la valeur la plus faible étant prise en compte. L'amplitude de vibrations doit être adaptée à la valeur d'accélération efficace de l'essai aléatoire, afin d'éviter au spécimen des contraintes plus fortes lors de l'essai de vibrations aléatoires. Une vitesse de balayage de 1 octave par minute doit être appliquée pour déterminer les fréquences et amplitudes des résonances. Il existe une préoccupation au sujet de l'excitation de la structure à une résonance complète alors une vitesse de balayage plus rapide peut être appliquée comme indication de fréquence et de l'amplitude relative de la résonance dans la bande de fréquences présentant un intérêt. Des

8.4.2 Mesures intermédiaires et essai de performance de fonctionnement

Lorsque la spécification particulière le prescrit, le spécimen doit être en fonctionnement pendant un laps de temps donné au cours de l'épreuve et ses performances doivent être vérifiées (voir l'Article B.6).

8.5 Recherche et étude finales des fréquences critiques

Si la spécification particulière a exigé la recherche et l'étude initiales des fréquences critiques, elle peut également exiger une recherche et une étude supplémentaires des fréquences critiques à la fin de l'épreuve aléatoire, afin de déterminer si des changements ou des défaillances sont apparus depuis la recherche et l'étude initiales des fréquences critiques. La recherche et l'étude finales doivent alors être réalisées de la même manière, aux mêmes points de mesure et avec les mêmes paramètres que lors de la recherche et de l'étude initiales. Les lignes directrices pour l'utilisation des modifications du comportement aux vibrations, par exemple la modification des fréquences critiques, sont fournies dans la CEI 60068-3-8. La spécification particulière doit indiquer les actions à engager si des résultats différents sont obtenus lors de ces deux recherches.

9 Reprise

Il est parfois nécessaire de laisser s'écouler un certain temps après l'épreuve et avant les mesures finales pour permettre au spécimen de se retrouver dans les mêmes conditions qu'au début des mesures initiales en ce qui concerne la température. La spécification particulière doit alors prescrire les conditions de reprise.

10 Mesures finales et essai de performance de fonctionnement

Le spécimen doit être soumis aux vérifications visuelles, dimensionnelles et fonctionnelles, ainsi qu'à toute autre vérification prescrite par la spécification particulière.

La spécification particulière doit donner les critères sur lesquels doit être fondée la décision d'acceptation ou du rejet du spécimen.

Pour l'évaluation des résultats du comportement aux vibrations, voir la CEI 60068-3-8.

11 Renseignements que doit donner la spécification particulière

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification particulière, les détails suivants doivent être donnés pour autant qu'ils sont applicables, en accordant une attention particulière aux points repérés par une étoile (*) pour lesquels des renseignements doivent être donnés dans tous les cas.

	Articles
a) Points de pilotage*	3.4
b) Points de mesure*	3.6
c) Mouvement fondamental*	4.2
d) Points de fixation*	4.2
e) Mouvement d'axe transversal	4.3
f) Montage du spécimen*	4.4
g) Tolérances de vibrations pour les essais des spécimens volumineux ou lourds	4.6
h) Facteur de crête* / distribution / ecrêtage du signal d'excitation	4.6.2
i) Précision statistique (nombre de DOF)	4.6.3

recherches à des vitesses de balayage plus faibles ou de balayages en va-et-vient autour d'une résonance connue peuvent être exigées mais il convient de les limiter à la durée minimale pour obtenir les résultats requis. Tout arrêt prolongé doit être évité. L'amplitude des vibrations peut être modifiée autant qu'il est nécessaire.

On doit réaliser cette recherche de réponse avec des vibrations aléatoires en tenant compte que la durée de l'essai doit être suffisamment longue pour minimiser les variations stochastiques de la réponse. Un essai de comportement aux vibrations aléatoires doit être effectué en utilisant un spectre compris entre f_1 and f_2 . A la fréquence de résonance la plus basse, il doit y avoir un minimum de cinq raies spectrales dans la bande de fréquences à -3 dB de la crête de résonance.

Lorsqu'une excitation aléatoire est utilisée, il convient que la valeur efficace de l'accélération ne dépasse pas 25 % de la valeur spécifiée pour l'essai de vibrations aléatoires. La durée doit être aussi courte que possible mais assez longue pour effectuer une analyse avec DOF = 120 degrés de liberté possibles (voir la Figure 3). Si la réponse de résonance est observée et périodiquement documentée pendant l'essai de niveau complet, des recherches de résonances particulières ne sont pas nécessaires.

Si la spécification particulière le prescrit, le spécimen doit être en mode fonctionnement pendant cette recherche. 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. Au cours de cette étape, le spécimen doit être examiné pour déterminer les fréquences critiques qui doivent être notées dans le rapport d'essai.

8.3 Excitation à bas niveau pour l'égalisation avant l'épreuve

Avant l'épreuve de vibrations aléatoires au niveau spécifié, il peut être nécessaire de soumettre le spécimen à une excitation aléatoire préliminaire à un niveau réduit afin d'égaliser le signal et de réaliser une analyse préliminaire. Il est important, à ce stade, que le niveau de densité spectrale d'accélération appliqué soit aussi réduit que possible.

Les durées permises pour l'excitation aléatoire préliminaire sont les suivantes:

- au-dessous de -12 dB du niveau de la valeur efficace spécifiée: pas de limite de durée;
- entre -12 dB et -6 dB du niveau de la valeur efficace spécifiée: inférieur à 1,5 fois la durée d'épreuve spécifiée;
- entre -6 dB et 0 dB du niveau de la valeur efficace spécifiée: inférieur à 10 % de la durée d'épreuve spécifiée.

La durée de l'excitation aléatoire préliminaire ne doit pas être déduite de la durée d'essai spécifiée pour l'essai de vibrations aléatoires.

8.4 Epreuve aléatoire

8.4.1 Généralités

La spécification particulière doit choisir la gamme de fréquences d'essai appropriée (f_1 à f_2), la valeur efficace totale d'accélération, la forme de la courbe de densité spectrale d'accélération et la durée de l'épreuve. Lorsque la spécification particulière le prescrit, plusieurs mesures de la densité spectrale d'accélération et de la valeur efficace de l'accélération aux points de vérification doivent être effectuées à des intervalles appropriés, pour vérifier que le spectre aléatoire d'entrée est stable, et cela doit être noté dans le rapport d'essai.

j) Résolution en fréquence*	4.6.4
k) Technique de pilotage	4.7
l) Gamme de fréquences de l'essai*	5.1
m) Valeur efficace de l'accélération*	5.2
n) Forme de la courbe de densité spectrale d'accélération*	5.3
o) Durée d'essai*	5.4
p) Préconditionnement	6
q) Mesures initiales*	7
r) Axes d'essai préférentiels et ordre des essais*	8.1
s) Fréquence critique	8.2
t) Recherche et étude initiales et finales des fréquences critiques	8.2 & 8.5
u) Mesures intermédiaires	8.4.2
v) Reprise	9
w) Mesures finales et critères d'acceptation ou de rejet*	10
x) Incertitude du système de mesure	B.1
y) Performance et vérification fonctionnelle	10

12 Renseignements à fournir dans le rapport d'essai

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

- Client (nom et adresse)
- Laboratoire d'essai (nom et adresse)
- Identification du rapport d'essai (date de parution, numéro unique)
- Dates des essais
- Objet de l'essai (essai de développement, d'homologation, etc.)
- Norme d'essai, édition (procédure d'essai appropriée)
- Description du spécimen d'essai (état initial, numéro d'identification unique, quantité, photo, dessin, etc.)
- Montage du spécimen d'essai (numéro d'identification de la fixation, dessin, photo, etc.)
- Performance de l'appareillage d'essai (mouvement transversal, etc.)
- Chaîne de mesure, emplacement du capteur (description, dessin, photo, etc.)
- Incertitudes du système de mesure, si la spécification particulière l'exige (incertitude globale, données d'étalonnage, dernière/prochaine date d'étalonnage)
- Technique de pilotage (pilotage à partir d'un seul point/de plusieurs points, pilotage à partir de plusieurs références)
- Mesures initiales, intermédiaires et/ou finales
- Sévérités requises (comme spécifié dans la spécification d'essai)
- Sévérités d'essai avec la documentation, s'ils sont exigés par la spécification (points de mesure, spectres d'essai, durée de l'essai, résolution de fréquence, nombre de DOF, distribution, etc.)

- 16. Résultats des essais (état final du spécimen d'essai)
- 17. Observations au cours des essais et actions entreprises
- 18. Résumé de l'essai
- 19. Gestionnaire de l'essai (nom et signature)
- 20. Distribution (liste des personnes recevant le rapport)

NOTE 1 Il convient de rédiger une liste de contrôle des essais pour les essais, dans laquelle ceux-ci 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 aussi l'ISO/CEI 17025.

Annexe A (informative)

Spectres d'essai normalisés

Pour plusieurs conditions d'environnement les spectres d'entrée normalisés sont issus de différentes spécifications telles que MIL-STD 810F, EN 61373, RTCA DO-160D et de spécifications internes d'entreprises des secteurs de l'automobile et électroniques. Les paramètres d'essai sont des exemples d'essais avec les conditions d'environnement normalisées suivantes. Pour les détails voir les spécifications référencées dans les tableaux.

Spectre A.1 Transport

Pour les détails voir les spécifications référencées dans les Tableaux A.1 et A.2 ci-dessous.

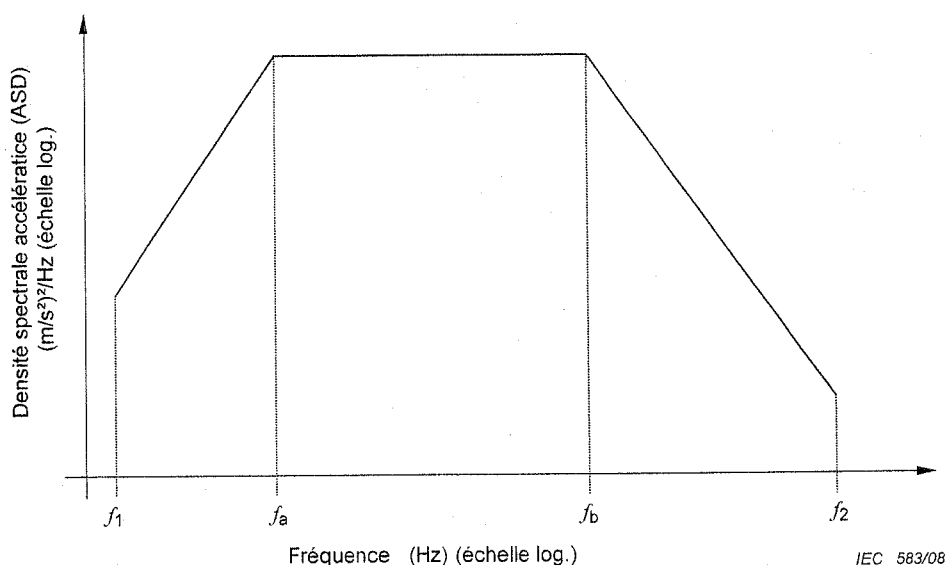


Figure A.1 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre – Transport

Tableau A.1 – Catégories pour le spectre – Transport

Catégorie	Description	Temps suggéré par axe	Axes	Spécification référence
No.		h	No.	
1	Transport par camion sur autoroutes U.S.; chargement restreint.			
1 a	Vertical	1	1	MIL-STD 810F
1 b	Horizontal	1	2	dérivé de MIL-STD 810F
2	Transport; par eau, terre; conditions difficiles. Automotrice avec remorques à suspension rigide.	0,5	3	
3	Matériels de télécommunications; Utilisation en déplacement; Manutention brutale et transfert.	0,5	3	ETSI 300 019-2-7
4	Matériel mobile; en fonctionnement.	0,5	3	

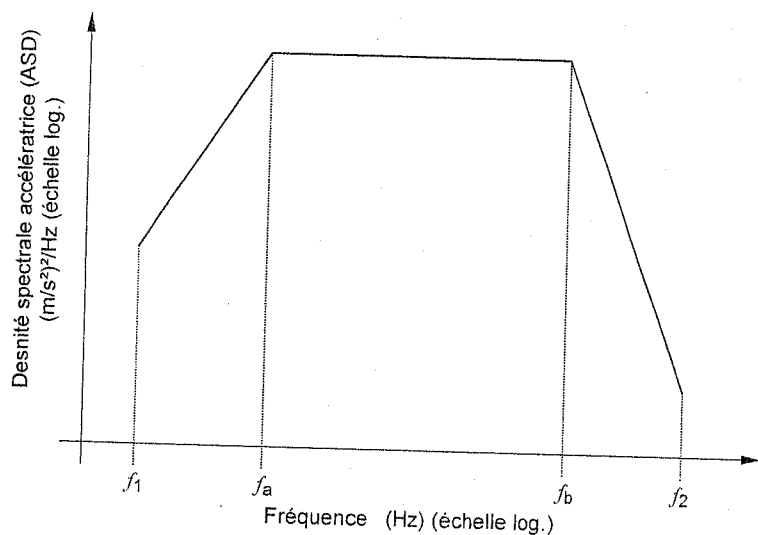
Tableau A.2 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: transport

Catégorie	f_1	$ASDf_1$	f_a	f_b	$ASDf_a, f_b$	f_2	$ASDf_2$	$a_{\text{valeur efficace}}$
No.	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	m/s^2
1 a	$(10)^a$	1,44	5	40	1,44	500	0,014 4	$(10,2)$
1 b	5	0,65	5	20	0,65	500	0,015	6,5
2	10	1,0	10	200	1,0	500	0,3	18,7
3	10	2,0	10	12	2,0	150	0,16	8,0
4	10	0,037	30	200	0,33	500	0,053	9,9

^a Valeurs entre parenthèses: pour plus de détails voir la spécification.

Spectre A.2 Installations fixes

Pour les détails voir les spécifications référencées dans les Tableaux A.3 et A.4 ci-dessous.



IEC 584/06

Figure A.2 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre – Installations fixes

Tableau A.3 – Catégories pour le spectre: installations fixes

Catégorie	Description	Temps suggéré par axe	axes	Spécification référence
No.		h	No.	
1	Matériels de télécommunications; utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries; emplacements à régulation partielle de température; en exploitation. NOTE Matériels pour utilisation à poste fixe comme les Ordinateurs Centraux; les PC, les imprimantes; en fonctionnement. Matériels comportant des composants extrêmement sensibles; en fonctionnement. Bâtiments ne présentant aucune vibration décelable.	0,5	3	ETSI EN 300 019-2-3, T 3,2
2	Matériels de télécommunications; utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries; emplacements abrités; en exploitation. NOTE Bâtiments présentant des vibrations décelables mais n'étant pas induites de l'extérieur.	0,5	3	ETSI EN 300 019-2-3, T 3.5
3	Bâtiments présentant des vibrations induites de l'extérieur; en condition de non fonctionnement	1	3	

Tableau A.4 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: installations fixes

Catégorie	f_1	$ASD f_1$	f_a	f_b	$ASD f_a, f_b$	f_2	$ASD f_2$	$a_{\text{valeur efficace}}$
No.	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	Hz	$(m/s^2)^2/Hz$	m/s^2
1	5	0,001 3	10	50	0,02	100	0,001 3	1,1
2	5	0,002 5	10	50	0,04	100	0,002 5	1,5
3	10	0,022	30	200	0,20	500	0,005 2	7,0

Spectre A.3 Matériels dans les véhicules à roues

Pour les détails voir les spécifications référencées dans les Tableaux A.5 et A.6 ci-dessous.

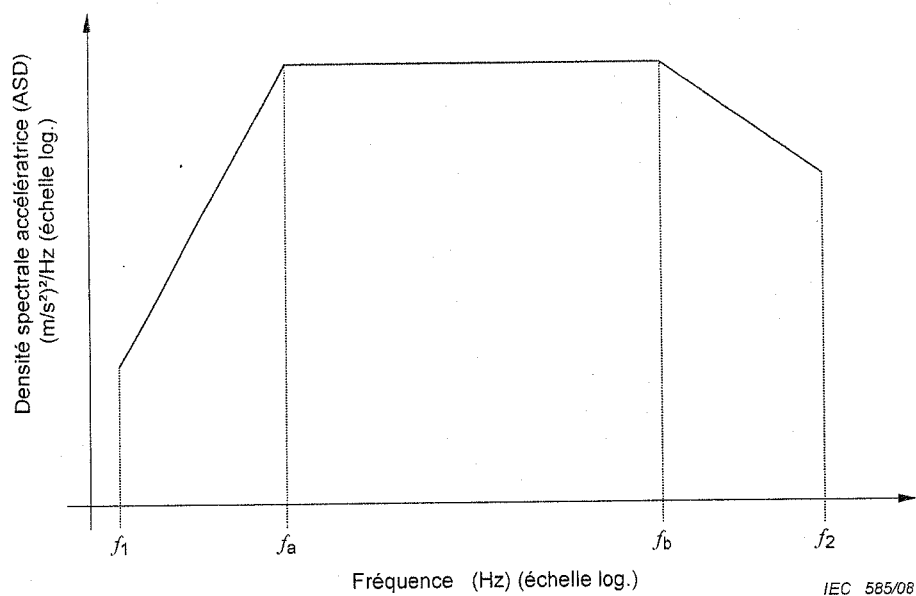


Figure A.3 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre – Matériels dans les véhicules à roues

Tableau A.5 – Catégories pour le spectre – Matériels dans les véhicules à roues

Catégorie	Description	Temps suggéré par axe	Axes	Spécification référence
No.		h	No.	
1	Automobile; montage sur châssis	8	3	
2 a	Automobile; Zone d'installation: Compartiment du moteur (baie moteur); fixation à la carrosserie ou sur le radiateur. Vertical	8	1	
2 b	Horizontal longitudinal	8	1	
2 c	Horizontal transversal	8	1	
3 a	Automotrices; montage en carrosserie; masse du spécimen d'essai < 500 kg. Vertical	5	1	CEI 61373, Cat. 1 B
3 b	Horizontal longitudinal	5	1	
3 c	Horizontal transversal	5	1	
4 a	Automotrices; montage sur bogie; masse du spécimen d'essai < 100 kg. Vertical	5	1	CEI 61373, Cat. 2
4 b	Horizontal longitudinal	5	1	
4 c	Horizontal transversal	5	1	
5 a	Automotrices; montage sur essieu; masse du spécimen d'essai < 50 kg. Vertical	5	1	CEI 61373, Cat. 3
5 b	Horizontal longitudinal	5	1	
5 c	Horizontal transversal	5	1	

Tableau A.6 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre: matériels dans les véhicules à roues

Catégorie	f_1	$ASDf_1$	f_a	f_b	$ASDf_a, f_b$	f_2	$ASDf_2$	$a_{\text{valeur efficace}}$
No.	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	m/s ²
1	10	10	10	50	10	1 000	0,1	33,8
2 a	5	0,4	11	15	4,0	200	0,1	11,0
2 b	5	0,15	12	18	0,9	200	0,07	6,7
2 c	5	0,15	10	15	1,9	200	0,15	10,0
3 a	5	1,86	5	20	1,86	150	0,034	7,8
3 b	5	0,9	5	20	0,9	150	0,016	5,4
3 c	5	0,37	5	20	0,37	150	0,006 7	3,5
4 a	5	1,49	10	100	11,8	250	1,9	42,4
4 b	5	0,33	10	100	2,62	250	0,42	20,0
4 c	5	1,13	10	100	8,96	250	1,44	37,0
5 a	10	68,6	20	100	545	500	22	300
5 b	10	13,9	20	100	110	500	4,45	135
5 c	10	55,5	20	100	441	500	17,84	270

Spectre A.4 Matériels installés dans les avions et les hélicoptères

Pour les détails voir les spécifications référencées dans les Tableaux A.7 et A.8 ci-dessous.

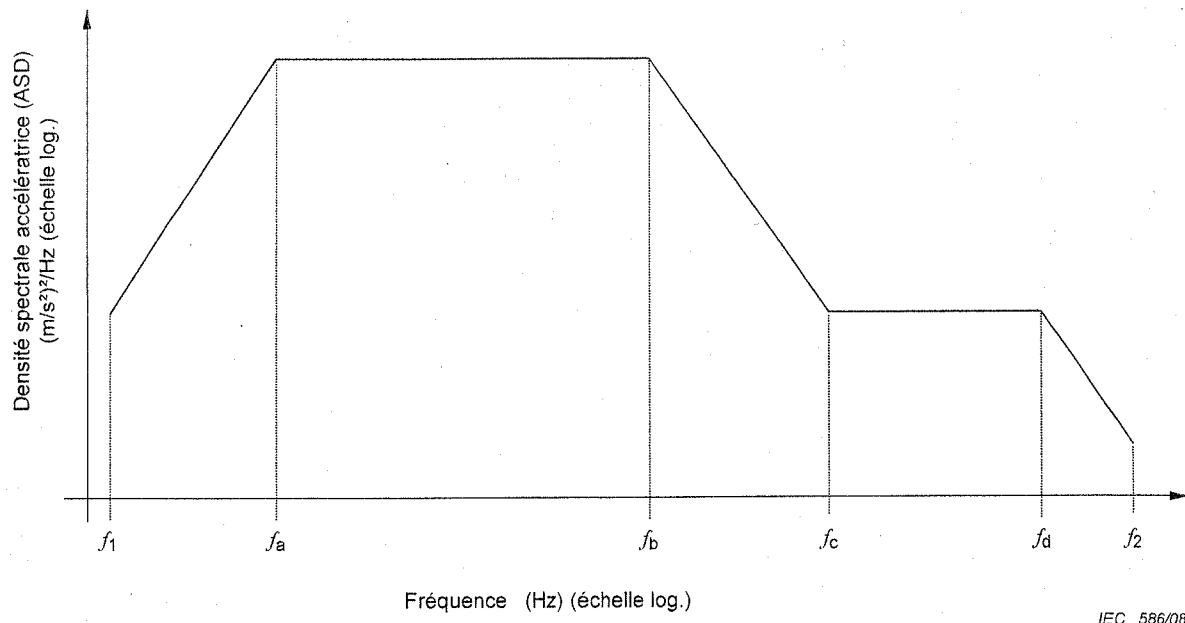


Figure A.4 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre – Matériels dans les avions et les hélicoptères

Tableau A.7 – Catégories pour le spectre: matériels dans les avions et les hélicoptères

Catégorie	Description	Temps suggéré par axe	Axes	Spécification référence
No.		h	No.	
1 a	Turboréacteur à voilure fixe ou turboréacteur double flux (subsoniques ou supersoniques)	1	3	RTCA DO-160D
1 b	Fuselage NOTE Fuselage, à l'exception des parties de la structure; directement soumises au moteur; standard.	1	3	
1 c	Tableau de bord, console et bâti d'équipement	1	3	
1 d	Voilure et puits de roue, empennage. NOTE Fuseau moteur, pylônes, voilure, empennages, travées du train d'atterrissage.	1	3	
2	Avion à hélices	1	3	
3 a	Hélicoptère A l'exception des éléments d'entraînement	1	3	
3 b	Eléments d'entraînement	1	3	

**Tableau A.8 – Points aux fréquences de transfert pour le spectre:
Matériels dans les avions et les hélicoptères**

Cat.	f_1	$ASDf_1$	f_a	f_b	$ASDf_{a,f_b}$	f_c	f_d	$ASDf_{c,f_d}$	f_2	$ASDf_2$	$a_{\text{valeur efficace}}$
No.	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	Hz	(m/s ²) ² /Hz	m/s ²
1 a	10	1,2	10	40	1,2	52	500	2,0	2 000	0,13	41,4
1 b	10	2,4	10	40	2,4	52	500	4,0	2 000	0,25	58,3
1 c	10	1,2	10	40	1,2	100	500	0,2	2 000	0,0126	14,9
1 d	10	4,0	10	100	4,0	200	500	8,0	2 000	0,5	79,7
2	10	2,4	10	40	2,4	52	500	4,0	2 000	0,25	58,3
3 a	5	0,2	70	300	2,0	500	500	2,0	500	0,2	26,0
3 b	10	0,012	150	2 000	2,58	2 000	2 000	2,58	2 000	2,58	70,0

Annexe B **(informative)**

Guide

B.1 Introduction générale

Parvenir à la reproductibilité n'est pas facile. Du fait de la nature statistique du mouvement aléatoire, de la réponse complexe du spécimen et des erreurs apparaissant dans le processus d'analyse, il n'est pas possible de prévoir si la densité spectrale d'accélération vraie du signal d'entrée aléatoire au spécimen sera proche de la densité spectrale d'accélération affichée et dans les tolérances prédéfinies. Une analyse complexe et longue est nécessaire après l'essai car une estimation en temps réel n'est pas possible.

La performance de la plupart des matériels numériques de pilotage de vibrations, susceptibles d'être employés pour les essais aux vibrations aléatoires, peut être supposée comme similaire. En utilisant certains paramètres disponibles du matériel de pilotage, un calcul préliminaire peut être effectué pour estimer la précision statistique associée à la différence entre la valeur affichée et la valeur vraie de la densité spectrale d'accélération. Cela ne tient pas compte d'autres sources d'incertitude définies dans l'ISO/CEI 17025 qui se réfère à l'ENV 13005, Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. Ces paramètres, dépendant les uns des autres, peuvent cependant être choisis afin qu'une similitude optimale soit obtenue entre les deux densités spectrales d'accélération.

L'égalisation de la densité spectrale d'accélération spécifiée nécessite de parcourir plusieurs fois la boucle d'asservissement, la durée dépendant de plusieurs facteurs, tels que la configuration du matériel, la fonction de transfert totale du système, la forme de la densité spectrale d'accélération spécifiée, l'algorithme d'asservissement et les paramètres d'essai qui peuvent être ajustés avant l'essai. Les paramètres d'essai concernés sont: la fréquence d'analyse maximale, la résolution en fréquence et l'écrêtage du signal d'excitation.

L'algorithme d'asservissement pour les vibrations aléatoires implique un compromis entre la précision de l'asservissement et le temps de réponse de la boucle d'asservissement, qui est dépendant, par exemple, du nombre d'acquisitions par boucle. Un asservissement de haute précision nécessite un grand nombre de données d'entrée et donc une durée de la boucle plus élevée et une réponse plus lente à des changements dynamiques de la densité spectrale d'accélération effective. De même, la résolution en fréquences a une grande influence sur les erreurs et sur la durée de la boucle. Normalement, une résolution en fréquence très fine conduit à une plus grande précision d'asservissement mais à une plus longue durée de la boucle d'asservissement. Afin de diminuer l'écart entre les densités spectrales d'accélération réelle et affichée, l'optimisation des paramètres d'essai mentionnés est nécessaire.

La recherche et l'étude des fréquences critiques donnent des renseignements essentiels sur l'interaction entre le spécimen et la table vibrante. Par exemple, cette recherche peut faire apparaître une amplification excessive du bâti de fixation ou une coïncidence entre une résonance du spécimen et du bâti de fixation. De ce fait, avant le montage d'un spécimen dans son bâti de fixation, on recommande de réaliser une investigation en réponse dynamique ou un essai modal sur le bâti de fixation et de réaliser les modifications nécessaires pour éviter de mettre des charges irréalistes à l'intérieur du spécimen.

B.2 Exigences pour l'essai

B.2.1 Asservissement à partir d'un seul point ou de plusieurs points

La satisfaction aux exigences de l'essai est validée par un calcul de la densité spectrale de l'accélération effectué à partir du signal aléatoire mesuré au point de référence.

Pour des spécimens rigides et de faibles dimensions, par exemple pour des essais de composants, ou si l'on sait que l'influence dynamique du spécimen est faible et que le bâti de fixation est rigide dans la gamme de fréquence d'essai, il suffit d'un seul point de vérification qui devient alors le point de référence.

Dans le cas de spécimens grands ou complexes, par exemple de matériels ayant des points de fixation éloignés les uns des autres, il faut que soit spécifié comme point de référence, soit un des points de vérification, soit un autre point. S'il s'agit d'un point fictif, la densité spectrale de l'accélération est calculée à partir des signaux aléatoires mesurés aux points de vérification. Il est recommandé que, pour les spécimens grands ou complexes, un point fictif soit utilisé.

B.2.1.1 Pilotage à partir d'un seul point

Les mesures sont faites en un point de référence et la densité spectrale de référence de l'accélération indiquée est directement comparée à la densité spectrale de l'accélération spécifiée.

B.2.1.2 Asservissement à partir de plusieurs points

Lorsqu'un asservissement en plusieurs points est spécifié, ou nécessaire, on peut choisir deux techniques d'asservissement dans le domaine des fréquences.

B.2.1.2.1 Technique de la moyenne

Dans cette méthode, la densité spectrale de l'accélération est calculée à partir des signaux de chaque point de vérification. Une densité spectrale d'accélération composite est trouvée par la moyenne arithmétique des densités spectrales de l'accélération de ces points de vérification.

La moyenne arithmétique des densités spectrales de l'accélération est ensuite comparée à la densité spectrale de l'accélération spécifiée.

B.2.1.2.2 Technique des extrêmes

Dans cette méthode, la densité spectrale de l'accélération composite est calculée à partir des valeurs maximales ou minimales de chaque raie de fréquences de la densité spectrale de l'accélération mesurée à chaque point de vérification. Cette méthode est également connue sous le nom de stratégie 'maximale' ou 'minimale', car elle produit une densité spectrale d'accélération qui représente l'enveloppe des densités spectrales d'accélération de chaque point de vérification.

B.2.2 Distribution

B.2.2.1 Distribution des valeurs instantanées

La distribution des valeurs instantanées du signal d'excitation aléatoire employé durant l'épreuve est appelée distribution normale, ou gaussienne, et est définie par l'équation:

$$p(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2(\chi/\sigma)^2} \quad (\text{B.1})$$

où

$p(\chi)$ est la densité de probabilité;

σ est la valeur efficace du signal d'excitation = écart-type;

χ est la valeur instantanée du signal d'excitation aléatoire.

La valeur moyenne du signal temporel d'excitation aléatoire est présumée être nulle.

La fonction de la densité de probabilité normale pour l'aléatoire est présentée à la Figure 2.

B.2.2.2 Facteur de crête

Le facteur de crête caractérise la distribution du signal (d'asservissement) d'excitation par le rapport du maximum de la valeur instantanée à la valeur efficace (voir aussi la Figure 2).

Le facteur de crête peut être uniquement appliqué au signal d'excitation sortant d'un système numérique d'asservissement des vibrations, car les éléments non linéaires du système, c'est-à-dire l'amplificateur de puissance, le générateur de vibrations, le bâti de fixation et le spécimen, peuvent modifier l'onde aléatoire au point de vérification. Ces éléments non linéaires couvrant une large bande de fréquences, sont généralement non contrôlables.

Le facteur de crête exigé par cette norme ne doit pas être inférieur à 2,5 (voir aussi 4.6.2). Pour une amplitude aléatoire à distribution normale, si le facteur de crête de 2,5 est utilisé, environ 99 % de toutes les valeurs instantanées d'excitation sont appliquées à l'amplificateur de puissance.

B.2.3 Pentés initiales et finales

La présente norme fait appel à une densité spectrale de l'accélération ayant une forme donnée ou constante, spécifiée entre f_1 et f_2 (voir les spectres A.1 à A.4). Cependant, en pratique, un essai ne peut être réalisé qu'avec des pentes initiale et finale. Afin de garder la valeur efficace d'accélération aussi proche que possible de la valeur spécifiée, il convient que les pentes soient aussi fortes que possible.

Il convient normalement que la pente initiale ne soit pas inférieure à 6 dB/octave. Cette valeur peut être augmentée lorsque le niveau de densité spectrale de l'accélération à f_1 est élevé et où il est nécessaire de réduire l'amplitude de déplacement pour être compatible avec les possibilités du moyen d'essai.

En général, le matériel d'asservissement numérique des vibrations a une dynamique de densité spectrale de l'accélération de 8 dB entre deux lignes de fréquence adjacentes. Pour obtenir une pente plus forte, il peut être nécessaire d'employer une résolution en fréquence B_e plus étroite que définie à l'origine. Si cela n'est pas possible ou si la pente maximale que l'on puisse obtenir ne produit pas la réduction du déplacement requise, la valeur de la tolérance inférieure de la densité spectrale d'accélération peut devoir être modifiée dans la gamme des fréquences plus basses.

Ces difficultés ne s'appliquent pas à la pente finale au-dessus de f_2 . Normalement, il convient que cette pente soit d'au moins -24 dB/octave.

B.3 Méthodes d'essai

Lorsque l'essai a simplement pour but de montrer l'aptitude du spécimen à supporter des vibrations d'amplitude appropriée et 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 les cas où il faut démontrer qu'un spécimen est apte à supporter les effets cumulés des vibrations, par exemple fatigue et déformation mécaniques, il convient que l'essai dure assez longtemps pour atteindre le nombre de cycles de contraintes nécessaire, bien que cela puisse conduire à des valeurs de durée situées en dehors de celles définies en 5.4.

Pour l'épreuve d'endurance d'un matériel normalement monté sur des amortisseurs, ces derniers sont habituellement montés. S'il n'est guère possible de faire l'essai avec les amortisseurs appropriés, par exemple si le matériel est installé avec d'autres matériels dans un bâti de montage commun, on peut effectuer l'essai sans amortisseurs mais à une sévérité différente qui doit être spécifiée. Il convient que la sévérité soit déterminée en tenant compte

de la transmissibilité du système amortisseur selon chaque axe requis pour l'essai. Quand on ne connaît pas les caractéristiques des amortisseurs, il convient de faire référence à B.4.1.

La spécification particulière peut prescrire un essai supplémentaire sur un spécimen dont les amortisseurs 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.

B.4 Matériels normalement utilisés avec amortisseurs de vibrations

B.4.1 Facteurs de transmissibilité pour les amortisseurs

La CEI 60068-2-47 fournit une description complète de ce qu'il faut faire dans des situations où il convient de réaliser l'essai avec des amortisseurs, mais où ils ne sont pas disponibles pour l'essai.

B.4.2 Effet de la température

Il importe de noter que beaucoup d'amortisseurs contiennent des matériaux dont les propriétés mécaniques peuvent être sensibles à la température. Si la fréquence de résonance fondamentale du spécimen sur ses amortisseurs tombe à l'intérieur de la gamme de fréquences de l'essai, il y a lieu de faire attention quand on définira la durée de l'épreuve d'endurance à effectuer. 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 y a lieu d'essayer de la reproduire. Si l'on ignore cette répartition dans le temps, il convient alors d'éviter les surchauffes excessives en limitant les périodes d'excitation selon le jugement de l'ingénieur.

B.5 Sévérités de l'essai

La gamme de fréquences et la densité spectrale d'accélération donnés ont été choisis de manière à couvrir une large gamme d'utilisation. Quand un élément n'est destiné qu'à une seule application, il vaut mieux fonder la sévérité sur les caractéristiques vibratoires de l'environnement réel, si on les connaît.

Chaque fois que possible, il est recommandé que la sévérité de l'essai appliquée au spécimen soit en relation avec l'environnement auquel le spécimen sera soumis durant, soit son transport, soit son fonctionnement opérationnel, ou avec les exigences de conception si le but de l'essai est d'estimer sa robustesse mécanique intrinsèque.

Lorsque l'on détermine la sévérité de l'essai, il convient de tenir compte de l'éventuel besoin de ménager une marge de sécurité appropriée entre la sévérité d'essai et les conditions de l'environnement réel.

B.6 Performance du matériel

Quand c'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, d'une manière représentative des conditions de fonctionnement.

Pour des spécimens sur lesquels les vibrations peuvent influencer les fonctions de mise en service et de mise hors service, par exemple interférant avec le branchement d'un relais, il convient que de telles manœuvres soient répétées pour démontrer le respect des performances au cours de l'essai.

Si l'essai a pour seul but de démontrer l'intégrité des spécimens, il est recommandé que les performances de fonctionnement soient vérifiées après la fin de l'essai d'endurance aux vibrations.

B.7 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 structurelles.

Bibliographie

CEI 61373:1999, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

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

ENV 13005:1999, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*

ETSI EN 300 019-2-3: *Ingénierie en environnement; conditions d'environnement et essais d'environnement pour les équipements de télécommunication – Partie 2-3: Spécifications des essais d'environnement; utilisation fixe en site protégé*

ETSI EN 300 019-2-7: *Ingénierie en environnement; conditions d'environnement et essais d'environnement pour les équipements de télécommunication – Partie 2-7: Spécifications des essais d'environnement; utilisation en déplacement*

MILSTD810F:2000, *Norme des méthodes d'essai pour les considérations d'ingénierie en environnement et les essais de laboratoire*

RTCA DO160D:1997, *Conditions d'environnement et procédures d'essais pour les équipements aériens*
