

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Measurement and evaluation methods of kinetic energy harvesting devices under practical vibration environment –
Part 1: Arbitrary and random mechanical vibrations**

**Dispositifs à semiconducteurs – Methodes de mesure et d'évaluation des dispositifs de captage d'énergie cinétique dans un environnement de vibrations concret –
Partie 1: Vibrations mécaniques arbitraires et aléatoires**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Measurement and evaluation methods of kinetic energy harvesting devices under practical vibration environment –
Part 1: Arbitrary and random mechanical vibrations**

**Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes de mesure et d'évaluation des dispositifs de captage d'énergie cinétique dans un environnement de vibrations concret –
Partie 1: Vibrations mécaniques arbitraires et aléatoires**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-6895-7

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

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Characteristics of kinetic energy harvesting devices	8
5 Vibration testing equipment	8
5.1 General	8
5.2 Vibration exciter	8
5.3 Mounting fixture	9
5.4 Acceleration sensor	9
5.5 Read-out circuit	9
5.6 Data recorder	9
6 Preparation of test bed and device	9
6.1 General	9
6.2 Evaluation of vibration conditions	9
6.3 Evaluation of electronic noise	10
7 Testing methods	10
7.1 External load	10
7.2 Testing time	10
7.3 Test environment	10
7.4 Measurement conditions	10
8 Measuring procedures	11
8.1 General	11
8.2 Single frequency response	11
8.3 Frequency sweeping response	11
8.4 Random vibration response	11
9 Test report	11
Annex A (informative) Example of measurement for kinetic energy harvesting device	13
A.1 General	13
A.2 Electret energy harvester with linear spring	13
A.2.1 Shape, weight and dimensions of tested energy harvesting device	13
A.2.2 Characteristics of the read-out circuit	13
A.2.3 Characteristics of the vibration exciter	14
A.2.4 Type, frequency response and accuracy of acceleration sensor	14
A.2.5 Method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter	15
A.2.6 Vibration direction with respect to the gravity direction	15
A.2.7 Measurement conditions and measurement results for sinusoidal vibration	15
A.2.8 Measurement conditions and measurement results for frequency sweep	16
A.2.9 Measurement conditions and measurement results for random vibration	19
A.3 Inverse-magnetostrictive energy harvester with nonlinear spring	21
A.3.1 Shape, weight and dimensions of tested energy harvesting device	21
A.3.2 Characteristics of the read-out circuit	21
A.3.3 Characteristics of the vibration exciter	22
A.3.4 Type, frequency response and accuracy of acceleration sensor	22

A.3.5	Method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter	22
A.3.6	Vibration direction with respect to the gravity direction	22
A.3.7	Measurement conditions and measurement results for sinusoidal vibration	22
A.3.8	Measurement conditions and measurement results for frequency sweep	23
A.3.9	Measurement conditions and measurement results for random vibration.....	24
A.4	Piezoelectric energy harvester with broadband response	25
A.4.1	Shape, weight and dimensions of tested energy harvesting device	25
A.4.2	Characteristics of the read-out circuit	25
A.4.3	Characteristics of the vibration exciter	26
A.4.4	Type, frequency response and accuracy of acceleration sensor	26
A.4.5	Method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter	26
A.4.6	Vibration direction with respect to the gravity direction	27
A.4.7	Measurement conditions and measurement results for sinusoidal vibration	27
A.4.8	Measurement conditions and measurement results for frequency sweep	28
A.4.9	Measurement conditions and measurement results for random vibration.....	30
Annex B (informative)	Definition of random vibration.....	33
Bibliography		36
Figure 1	– Testing equipment for kinetic energy harvesting device for mechanical vibration.....	8
Figure A.1	– Photo of the electret energy harvester	13
Figure A.2	– Read-out circuit using voltage divider	14
Figure A.3	– Output power for sinusoidal excitation at 30,4 Hz versus the external load	15
Figure A.4	– Voltage waveforms for 30,4 Hz sinusoidal excitation at different zero-peak accelerations	16
Figure A.5	– Maximum, minimum, and RMS output voltages for frequency sweeping at different zero-to-peak accelerations	18
Figure A.6	– Output power for frequency sweeping from 15 Hz to 45 Hz at different zero-to-peak accelerations.....	19
Figure A.7	– Voltage waveforms for the random vibration with different acceleration spectral densities.....	20
Figure A.8	– Photo of the magnetostrictive energy harvester	21
Figure A.9	– Measurement circuit.....	21
Figure A.10	– Output power for sinusoidal excitation at 98 Hz versus the external load (zero-to-peak acceleration is 9,8 m/s ²)	23
Figure A.11	– Voltage waveforms for 116 Hz sinusoidal excitation at different zero-to-peak accelerations	23
Figure A.12	– Power spectra of the output voltage for frequency sweeping from 60 Hz to 180 Hz at different zero-to-peak accelerations	24
Figure A.13	– Voltage waveforms for the random vibration 0,49 (m/s ²) ² /Hz.....	24
Figure A.14	– Photo of the piezoelectric energy harvester	25
Figure A.15	– Read-out circuit using a voltage divider.....	25
Figure A.16	– Output power for 40 Hz sinusoidal excitation versus the external load (zero-to-peak acceleration is 0,98 m/s ²)	27

Figure A.17 – Voltage waveforms for 40 Hz sinusoidal excitation at different zero-to-peak accelerations	28
Figure A.18 – Voltage waveforms for frequency sweeping from 20 Hz to 60 Hz at different zero-to-peak accelerations	29
Figure A.19 – Power spectra of the output power for frequency sweeping from 20 Hz to 60 Hz at different zero-to-peak accelerations	30
Figure A.20 – Voltage waveforms for the random vibration at different acceleration spectral densities	31
Figure B.1 – Random vibration with uniform acceleration spectral density	34
Figure B.2 – Example data of random vibration	35
Table A.1 – Vibration exciter used in sinusoidal vibration	14
Table A.2 – Vibration exciter used in random vibration	14
Table A.3 – Acceleration sensor used in sinusoidal vibration	14
Table A.4 – Acceleration sensor used in random vibration	15
Table A.5 – Output voltage and power for sinusoidal excitation at the rated frequency	16
Table A.6 – Output voltage for sinusoidal excitation with frequency sweeping	18
Table A.7 – Maximum output power for frequency sweeping from 15 Hz to 45 Hz	19
Table A.8 – Peak-to-peak voltage, RMS output voltage, and mean output power for random vibration	21
Table A.9 – Vibration exciter used in sinusoidal vibration	22
Table A.10 – Acceleration sensor used in sinusoidal and random vibrations	22
Table A.11 – Output voltage and power for sinusoidal excitation at the rated frequency	23
Table A.12 – RMS output voltage and mean output power for random vibration	24
Table A.13 – Vibration exciter used in sinusoidal vibration	26
Table A.14 – Vibration exciter used in random vibration	26
Table A.15 – Acceleration sensor used in sinusoidal vibration	26
Table A.16 – Acceleration sensor used in random vibration	26
Table A.17 – Output voltage and power for sinusoidal excitation at the rated frequency	28
Table A.18 – Output voltage for sinusoidal excitation with frequency sweeping	29
Table A.19 – Maximum output power for frequency sweeping from 20 Hz to 60 Hz	30
Table A.20 – Peak-to-peak voltage, RMS output voltage, and mean output power for random vibration	32

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MEASUREMENT AND EVALUATION METHODS OF KINETIC
ENERGY HARVESTING DEVICES UNDER PRACTICAL
VIBRATION ENVIRONMENT –****Part 1: Arbitrary and random mechanical vibrations**

FOREWORD

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

International Standard IEC 63150-1 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47/2548/FDIS	47/2568/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 63150 series, published under the general title *Semiconductor devices – Measurement and evaluation methods of kinetic energy harvesting devices under practical vibration environment*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

SEMICONDUCTOR DEVICES – MEASUREMENT AND EVALUATION METHODS OF KINETIC ENERGY HARVESTING DEVICES UNDER PRACTICAL VIBRATION ENVIRONMENT –

Part 1: Arbitrary and random mechanical vibrations

1 Scope

This part of IEC 63150 specifies terms and definitions, and test methods for kinetic energy harvesting devices for one-dimensional mechanical vibrations to determine the characteristic parameters under a practical vibration environment. Such vibration energy harvesting devices often have their own non-linear mechanisms to efficiently capture vibration energy in a broadband frequency range.

This document is applicable to vibration energy harvesting devices with different power generation principles (such as electromagnetic, piezoelectric, electrostatic, etc.) and with different non-linear behaviour to the external mechanical excitation.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

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

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

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

3.1

kinetic energy harvesting device

device to generate electrical energy from kinetic energy

3.2

rated frequency

frequency given in the specification

3.3

sinusoidal vibration

vibration with a sinusoidal acceleration waveform with a given frequency

3.4

random vibration

non-deterministic vibration with broadband frequency spectra with a constant root-mean-square (RMS) acceleration spectral density of which frequency range is specified

Note 1 to entry: See Annex B.

3.5

background noise

vibration acceleration when no driving signal is applied

3.6

transverse sensitivity ratio

ratio of the transverse vibration acceleration to the primary acceleration

4 Characteristics of kinetic energy harvesting devices

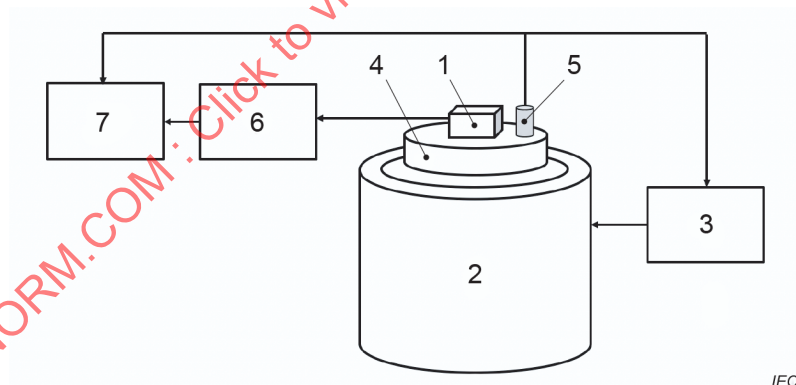
The characteristics of kinetic energy harvesting devices depend on the transduction mechanism (e.g., electromagnetic, piezoelectric, electrostatic), the device design, and the method for broadband frequency response (e.g., nonlinear spring, bistable spring, frequency up-conversion). The output voltage and power of those energy harvesting devices are characterized by measurements under three different vibration conditions, i.e., single-frequency sinusoidal vibration, vibration with frequency sweep-up/-down, and random vibration with broadband frequency spectra.

Examples of three different types of vibration energy harvesters are described in Annex A. Definition of random vibration is given in Annex B.

5 Vibration testing equipment

5.1 General

Figure 1 provides fundamental configurations with functional blocks or components for vibration testing equipment for kinetic energy harvesting devices. Details of the functional blocks or components named in the key are provided in 5.2 to 5.6.



Key

1 DUT: device under test	2 Vibration exciter
3 Vibration controller	4 Mounting fixture
5 Acceleration sensor	6 External load/read-out circuit
7 Data recorder	

Figure 1 – Testing equipment for kinetic energy harvesting device for mechanical vibration

5.2 Vibration exciter

The vibration exciter shall generate vibration acceleration of the necessary frequency along with the necessary direction. In addition, the amplitude of the DUT vibration motion perpendicular to the driving direction should be small enough. The recommended value for its

amplitude (transverse sensitivity ratio) is smaller than 10 % of the amplitude in the driving direction.

The vibration acceleration control can be performed by either of the following methods:

- a) constant amplitude control: To maintain the vibration acceleration, by detecting and controlling the amplitude of the DUT vibration for given vibration frequency;
- b) constant RMS acceleration control: To maintain the vibration acceleration, by detecting and controlling vibration acceleration directly for a given vibration frequency.

In general, when the driving voltage of the vibration exciter is kept constant, the vibration acceleration is changed with the vibration frequency. Thus, the gain of the vibration exciter for different frequencies shall be compensated with preliminary vibration tests at different frequencies or with on-line feedback control of the driving voltage based on the acceleration signal obtained with the acceleration sensor as shown in Figure 1.

5.3 Mounting fixture

The mounting fixture shall fix the kinetic energy harvesting device under test to the vibration exciter so that the generated vibration can drive the test device correctly. In addition, the direction of the vibration generated by the vibration exciter shall be within 2° from the determined direction of vibration of the tested device.

5.4 Acceleration sensor

The acceleration sensor shall measure the vibration acceleration of the bracket or the DUT.

5.5 Read-out circuit

The read-out circuit shall measure the voltage across the external load and the output power of the kinetic energy harvesting device within a 3 % measurement error. The sampling frequency of the output detector shall be high enough (at least twice as high as the highest frequency component) to capture the waveform of the output voltage accurately.

5.6 Data recorder

The test system of the kinetic energy harvesting devices shall include a data recorder to collect recording data.

6 Preparation of test bed and device

6.1 General

The kinetic energy harvesting devices for testing shall indicate the way of mounting and the direction of vibration. The device for testing shall be mounted on the vibration exciter with the mounting fixture, and its electrical output shall be connected to an external load. Prior to the actual power generation tests, preliminary evaluation of the test bed shall be made as described in 6.2 and 6.3.

6.2 Evaluation of vibration conditions

The following points should be checked prior to the test.

- a) In order to avoid waveform distortion, maximum sine force $F_{\max}$ of the vibration exciter shall be higher than the required driving force, i.e.,

$$F_{\max} > S M a_{\max}$$

where S , M , and $a_{\max}$ are the safety factor, the total mass of the DUT and the mounting fixture, and the maximum zero-to-peak acceleration during the test. The safety ratio is the ratio between the maximum sine force of the vibration exciter and the estimated maximum sine force based on M and $a_{\max}$. The recommended value for the safety ratio is higher than 2.

- b) The background noise of the vibration acceleration shall be measured when no input voltage is applied to the vibration exciter while all the equipment is turned on.

6.3 Evaluation of electronic noise

The following preliminary measurements for evaluating electrical noise should be made prior to the test.

- a) Electrical noise in the output voltage of the DUT shall be measured when no input voltage is applied to the vibration exciter while all the equipment is turned on.
- b) The effect of the stray magnetic field generated by the vibration exciter shall be measured. If it is difficult to measure the stray magnetic field, the output voltage of the DUT shall be measured when the vibration exciter is operated without securing the DUT on the mounting fixture.

7 Testing methods

7.1 External load

The external load shall be a pure resistor of known value. In addition, the parasitic capacitance of the external load and the read-out circuit shall be measured.

7.2 Testing time

Testing time shall be long enough to stabilize electrical output of DUT in comparison with vibration frequency and acceleration.

7.3 Test environment

The temperature and relative humidity should be constant during the test.

7.4 Measurement conditions

Three types of measurements should be made as follows.

- a) Single frequency response

The waveform of the vibration acceleration shall be sinusoidal. Vibration frequency shall be at the rated frequency. Vibration acceleration shall be constant during one set of tests. Measurements with different external loads shall be made to obtain the optimum load. Three sets of tests with different accelerations are recommended, because the response of DUT might be strongly dependent on the RMS acceleration.

- b) Frequency sweeping response

The waveform of the vibration acceleration shall be sinusoidal. The lower and upper frequency of the frequency sweeping range shall be at least half and double the rated frequency. Data for sweeping in both directions (low to high or vice versa) shall be recorded. The sweep rate shall be low enough to minimize unintentional influence on the characteristics of power generation. In logarithmic sweeping, the recommended value for the sweep rate is smaller than 0,2 octave/min. Three sets of test with different accelerations are recommended, because the response of the DUT could be strongly dependent on the RMS acceleration.

- c) Random vibration response

The waveform of the vibration acceleration shall be random as described in 3.4. The lower and upper frequency of the random vibration shall be at least half and double the rated frequency. Three sets of tests with different accelerations are recommended, because the response of the DUT could be strongly dependent on the RMS acceleration. The measurement time period for estimating time-averaged quantities shall be long enough. The recommended value of the time period is at least 1 000 times that of one oscillation cycle of the rated frequency.

8 Measuring procedures

8.1 General

The following three sets of measurements shall be made with the testing equipment for kinetic energy harvesting devices as provided in Figure 1. The following steps are measuring procedures:

- a) set an ambient temperature and relative humidity;
- b) fix the DUT on the vibration exciter with the mounting fixture;
- c) set an external load to the output of the DUT;
- d) apply an input voltage waveform to realize the required vibration motion as described from 8.2 to 8.4, and vibrate the DUT;
- e) monitor the vibration frequency and acceleration of the DUT;
- f) measure the output voltage of the DUT and compute output power;
- g) repeat c) to f) for three different accelerations where required.

8.2 Single frequency response

An input voltage waveform is applied to the vibration exciter in such a way that the sinusoidal vibration of the DUT at the rated frequency and the prescribed acceleration is realized. Measurements with different external loads shall be made to obtain the optimum load.

8.3 Frequency sweeping response

An input voltage waveform is applied to the vibration exciter in such a way that the sinusoidal vibration of the DUT with a constant RMS acceleration is realized, while the vibration frequency is changed continuously at a sweep rate. Frequency shall be changed from the minimum to maximum frequencies (sweep-up) and from the maximum to minimum frequencies (sweep-down).

8.4 Random vibration response

An input voltage waveform is applied to the vibration exciter in such a way that random vibration of the DUT is realized.

9 Test report

The test report shall include at least the following information:

- a) mandatory:
 - 1) reference to this document;
 - 2) shape, weight and dimensions of the tested energy harvesting device;
 - 3) characteristics of the read-out circuit:
 - external load;
 - sampling frequency;

- measurement accuracy;
- input impedance;
- parasitic capacitance;
- 4) characteristics of vibration exciter;
 - maximum sine force;
 - maximum amplitude of the DUT motion;
 - frequency range;
 - background vibration acceleration;
- 5) type, frequency response and accuracy of the acceleration sensor;
- 6) method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter;
- 7) vibration direction with respect to the gravity direction;
- 8) measurement conditions:
 - external load;
 - rated frequency and vibration acceleration for rated frequency response;
 - range of frequency sweeping, sweeping rate, and vibration acceleration for vibration frequency sweeping response;
 - frequency spectrum of the vibration acceleration for random vibration;
 - measurement time;
 - measurement environment (temperature and relative humidity);
- 9) measurement results:
 - output voltage waveform;
 - peak-to-peak output voltage;
 - mean output power;
- b) optional:
 - 1) purpose of testing;
 - 2) structure of tested device;
 - 3) principle of power generation;
 - 4) transverse sensitivity ratio of the vibration exciter;
 - 5) output impedance of the tested device.

Annex A (informative)

Example of measurement for kinetic energy harvesting device

A.1 General

Annex A describes three examples of measurement for a kinetic energy harvester with different power generation principles. Clause A.2 is for an electret energy harvester with a linear spring, which exhibits a narrowband response. Clause A.3 is for an inverse-magnetostrictive energy harvester with a nonlinear spring showing significant hysteresis for frequency sweep-up/-down. Clause A.4 is for a piezoelectric energy harvester with a broadband response.

A.2 Electret energy harvester with linear spring

A.2.1 Shape, weight and dimensions of tested energy harvesting device

Figure A.1 shows the photo of the electret energy harvester. Its dimensions are 20 mm × 20 mm × 4 mm, and its weight is 3,7 g.



IEC

Figure A.1 – Photo of the electret energy harvester

A.2.2 Characteristics of the read-out circuit

Figure A.2 shows the read-out circuit with a voltage divider. The output voltage across the load is given by

$$V = V_M \frac{R}{R_M}$$

where V_M , R , R_M are the measured voltage, the total load, and the resistance of the measurement section. The total load R is given by $R = R_M + R_H$, and R_M is given by the resistance of the voltage divider R_L and the input impedance of the measurement unit R_I , i.e.,

$$R_M = \frac{R_L R_I}{(R_L + R_I)}$$

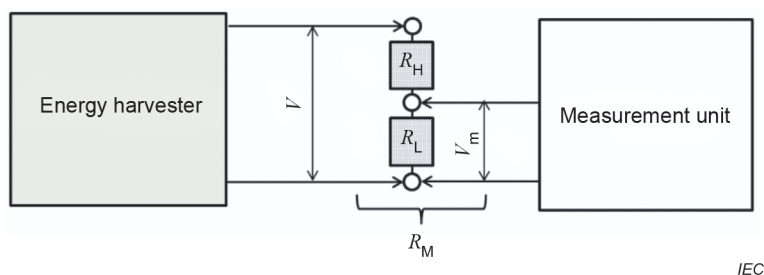


Figure A.2 – Read-out circuit using voltage divider

In the present test, an analogue-to-digital converter (± 5 V range) is used for the voltage measurement. The input impedance R_I , the resolution, and the sampling frequency are respectively >10 G Ω , 16 bits, and 10 kHz. $R_L = 100$ k Ω , so that R_M is almost the same as R_L .

A.2.3 Characteristics of the vibration exciter

Different vibration exciters were employed for sinusoidal vibration and random vibration as summarized in Tables A.1 and A.2.

Table A.1 – Vibration exciter used in sinusoidal vibration

Maximum sine force	300 N
Maximum amplitude	26 mm _{p-p}
Frequency range	from 5 Hz to 3 kHz
Background vibration acceleration	NA
Transverse sensitivity ratio	NA
Maximum acceleration	500 m/s ² without load

Table A.2 – Vibration exciter used in random vibration

Maximum force	9,8 kN
Maximum amplitude	25 mm _{p-p}
Frequency range	from 5 Hz to 3 kHz
Background vibration acceleration	NA
Transverse sensitivity ratio	NA
Maximum acceleration	735 m/s ²

A.2.4 Type, frequency response and accuracy of acceleration sensor

Different acceleration sensors were employed for sinusoidal vibration and random vibration as summarized in Tables A.3 and A.4.

Table A.3 – Acceleration sensor used in sinusoidal vibration

Type	Piezoelectric
Frequency range	f_c to 10 kHz ± 1 dB
Sensitivity	$3,0 \pm 10$ % pC/(m/s ²)
Capacitance	1 500 pF
Maximum acceleration	9 800 m/s ²

Table A.4 – Acceleration sensor used in random vibration

Type	Piezoelectric
Frequency range	f_c to 7 kHz ± 1 dB
Sensitivity	$5,0 \pm 10$ % pC/(m/s ²)
Capacitance	1 400 pF
Maximum acceleration	10 000 m/s ²

A.2.5 Method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter

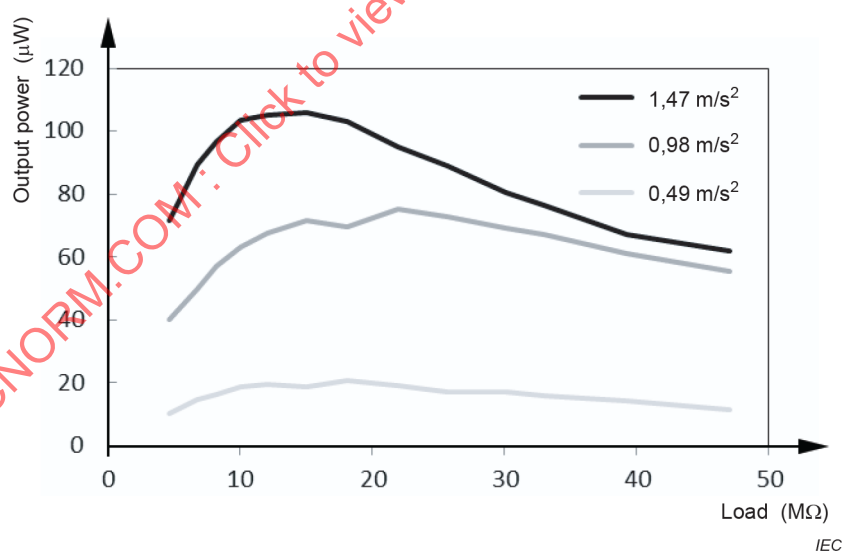
Double-side adhesive tape (0,15 mm-thick non-woven fabric, acrylic adhesive) is used to fix the energy harvester on the vibration exciter.

A.2.6 Vibration direction with respect to the gravity direction

The vibration direction is in the horizontal direction.

A.2.7 Measurement conditions and measurement results for sinusoidal vibration

The rated frequency and the external load were chosen as 30,4 Hz and 15,1 M Ω . The acceleration (zero to peak) is 0,49 m/s², 0,98 m/s², 1,47 m/s² and 1,96 m/s². The ambient temperature was 25,2 °C. Figure A.3 shows the output power for a 30,4 Hz sinusoidal excitation versus the external load at different accelerations, showing the matched impedance is from 15 M Ω to 20 M Ω . Figure A.4 shows the voltage wave form at a 30,4 Hz sinusoidal excitation for different accelerations. The amplitude and the number of voltage peaks are increased with the acceleration until 1,47 m/s² where the amplitude reaches its maximum value. The RMS output voltage and the mean output power are summarized in Table A.5.



Zero-to-peak acceleration is 0,49 m/s², 0,98 m/s², and 1,47 m/s².

Figure A.3 – Output power for sinusoidal excitation at 30,4 Hz versus the external load

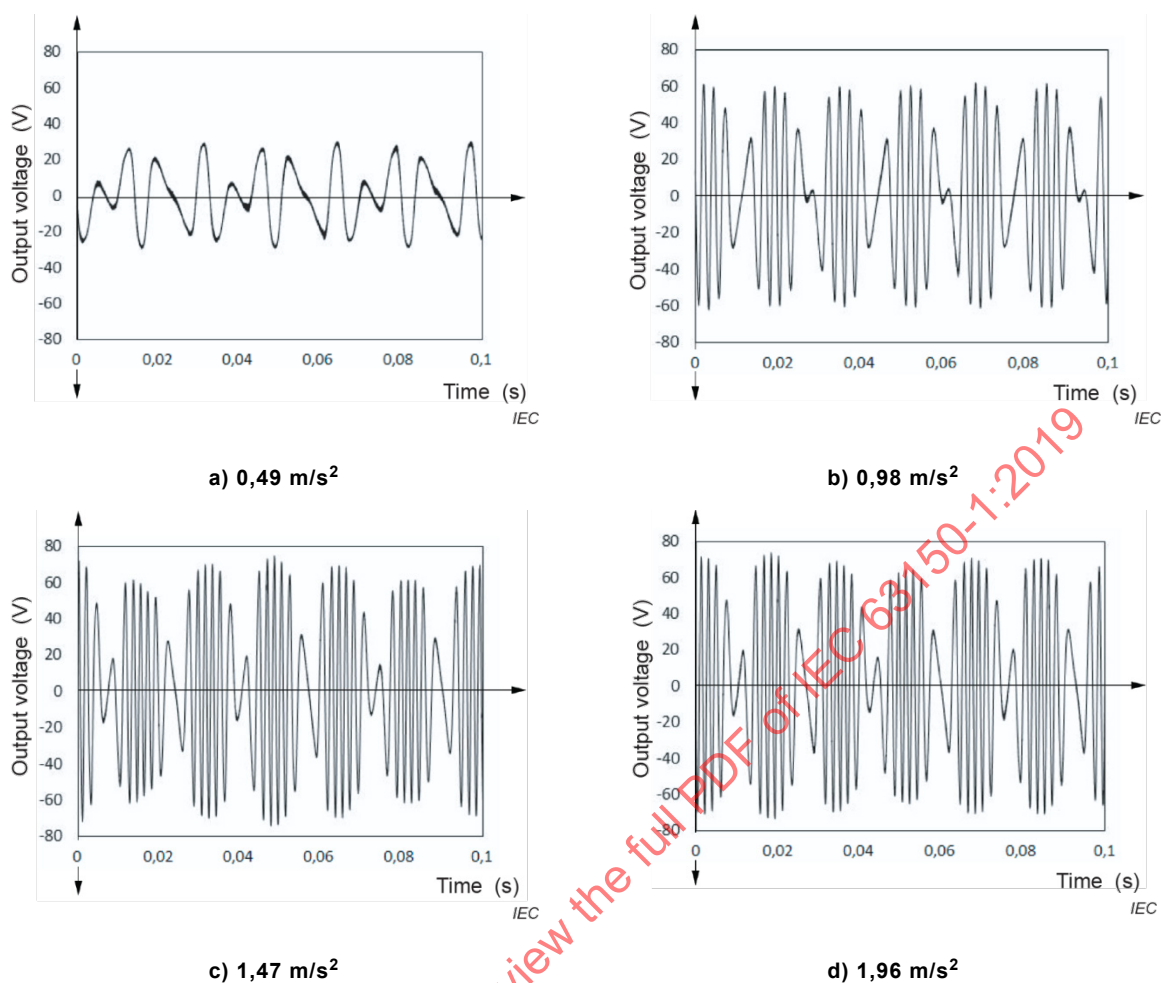


Figure A.4 – Voltage waveforms for 30,4 Hz sinusoidal excitation at different zero-peak accelerations

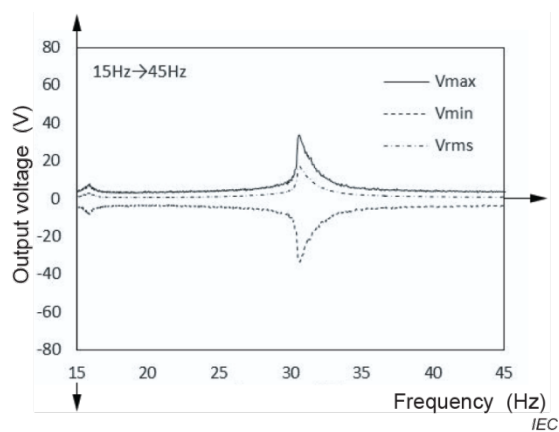
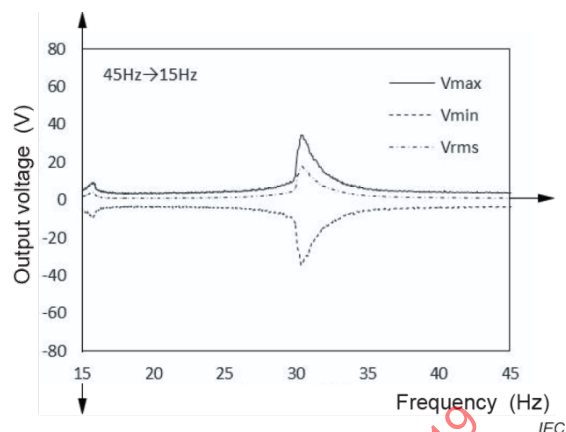
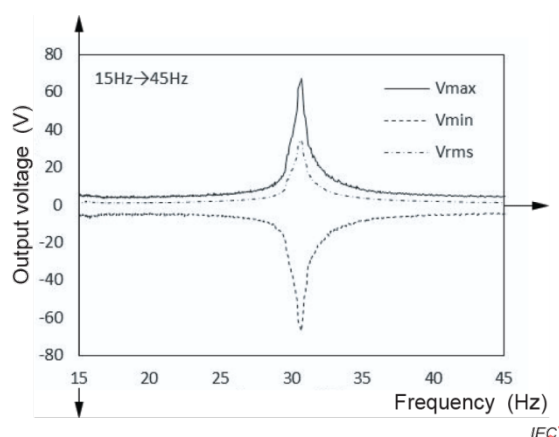
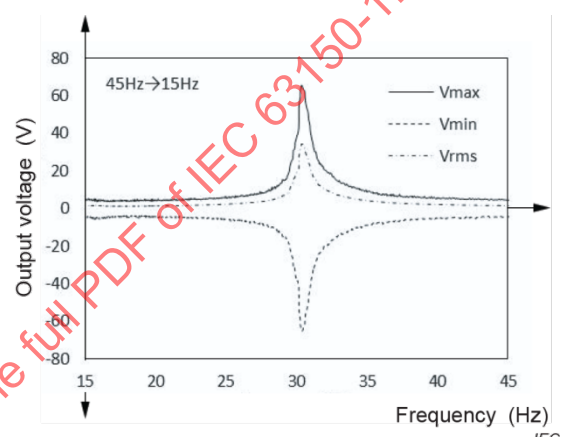
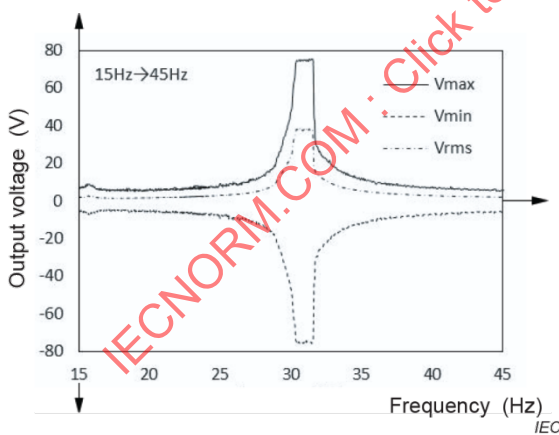
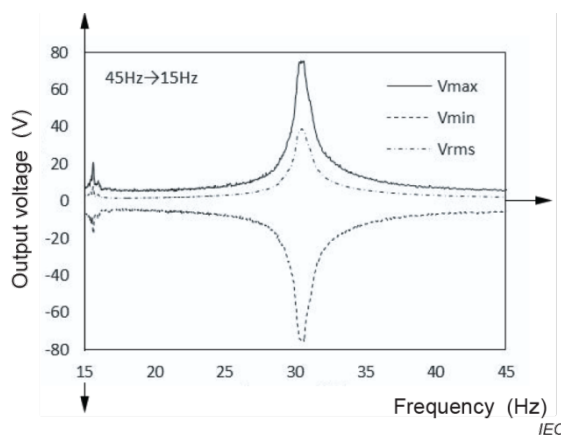
Table A.5 – Output voltage and power for sinusoidal excitation at the rated frequency

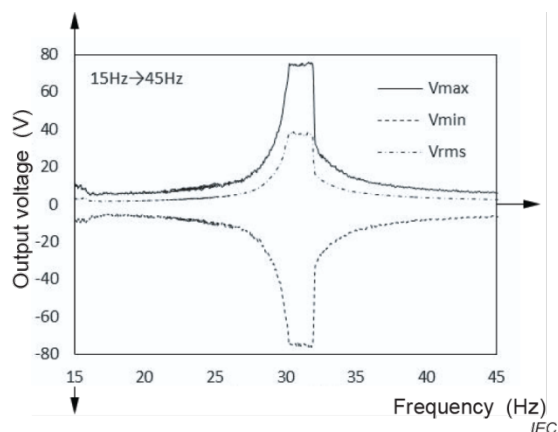
Acceleration (0-p)	RMS output voltage	Mean output power
0,49 m/s ²	16,0 V	16,9 μW
0,98 m/s ²	33,1 V	72,7 μW
1,47 m/s ²	38,4 V	97,9 μW
1,96 m/s ²	38,2 V	96,5 μW

A.2.8 Measurement conditions and measurement results for frequency sweep

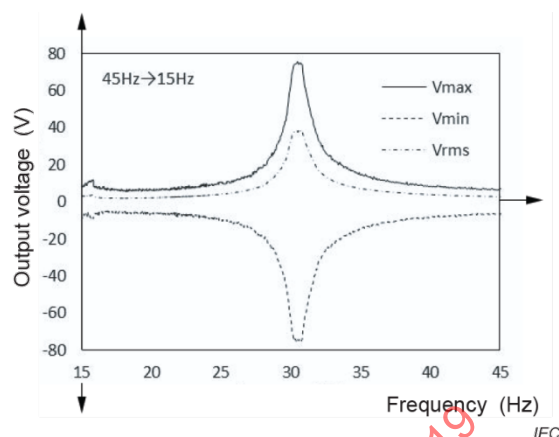
The range of the frequency sweep, the sweeping speed, and the external load were chosen as being from 15 Hz to 45 Hz, 0,25 octave/min, and 15,1 MΩ. The zero-to-peak acceleration is 0,49 m/s², 0,98 m/s², 1,47 m/s², and 1,96 m/s². The ambient temperature was 25,2 °C.

Figure A.5 shows the maximum output voltage $V_{\max}$, minimum output voltage $V_{\min}$, and the RMS output voltage V_{rms} during frequency sweeping for different accelerations. The voltage amplitude changes depending on the excitation frequency. The peak-to-peak output voltage and RMS output voltage for the sweep-up/-down and its frequency are summarized in Table A.6.

a) 0,49 m/s² for sweep-upb) 0,49 m/s² for sweep-downc) 0,98 m/s² for sweep-upd) 0,98 m/s² for sweep-downe) 1,47 m/s² for sweep-upf) 1,47 m/s² for sweep-down



g) 1,96 m/s² for sweep-up



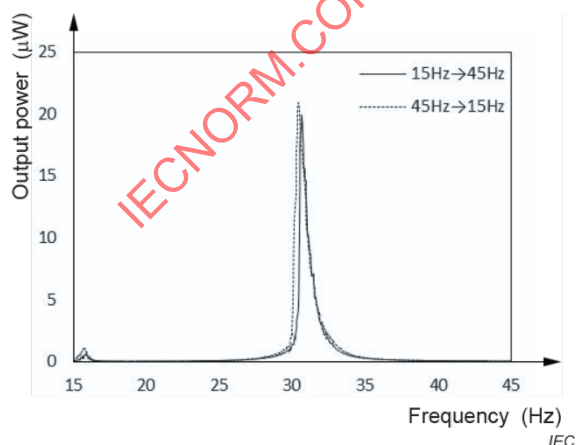
h) 1,96 m/s² for sweep-down

Figure A.5 – Maximum, minimum, and RMS output voltages for frequency sweeping at different zero-to-peak accelerations

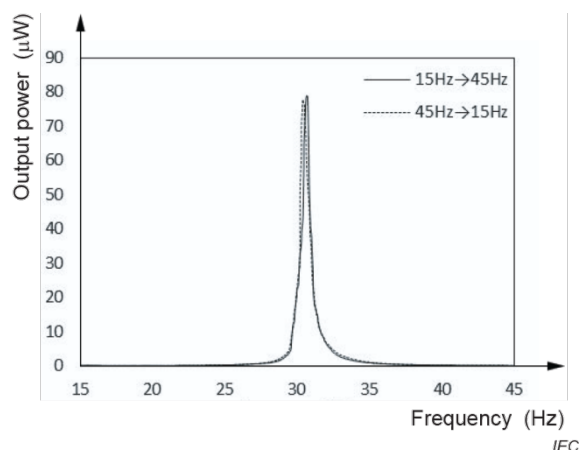
Table A.6 – Output voltage for sinusoidal excitation with frequency sweeping

Acceleration (0-p)	Sweep-up (from 15 Hz to 45 Hz)			Sweep-down (from 45 Hz to 15 Hz)		
	Peak-to-peak output voltage	RMS output voltage	Frequency	Peak-to-peak output voltage	RMS output voltage	Frequency
0,49 m/s ²	67,2 V	17,3 V	30,6 Hz	68,9 V	17,8 V	30,4 Hz
0,98 m/s ²	134,3 V	34,5 V	30,7 Hz	130,8 V	34,3 V	30,4 Hz
1,47 m/s ²	151,7 V	38,8 V	30,5 Hz	151,0 V	38,7 V	30,4 Hz
1,96 m/s ²	152,1 V	38,9 V	30,5 Hz	151,3 V	38,4 V	30,4 Hz

Figure A.6 shows the output power for frequency sweeping from 15 Hz to 45 Hz. Discrepancy is found for the sweep-up (from 15 Hz to 45 Hz) and the sweep-down (from 45 Hz to 15 Hz). Table A.7 summarizes the maximum output power for the sweep-up/-down and its frequency.



a) 0,49 m/s²



b) 0,98 m/s²

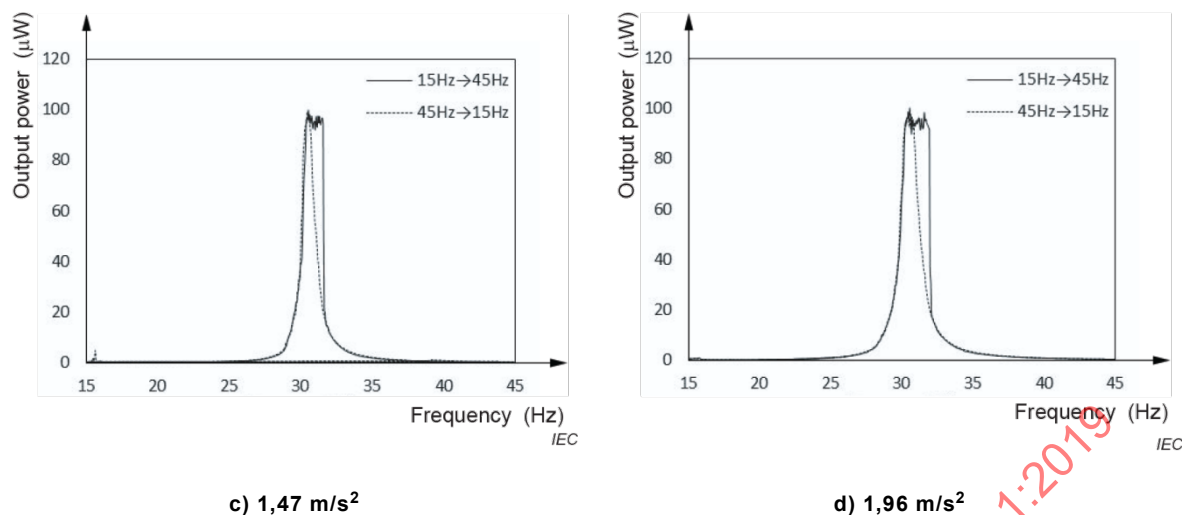


Figure A.6 – Output power for frequency sweeping from 15 Hz to 45 Hz at different zero-to-peak accelerations

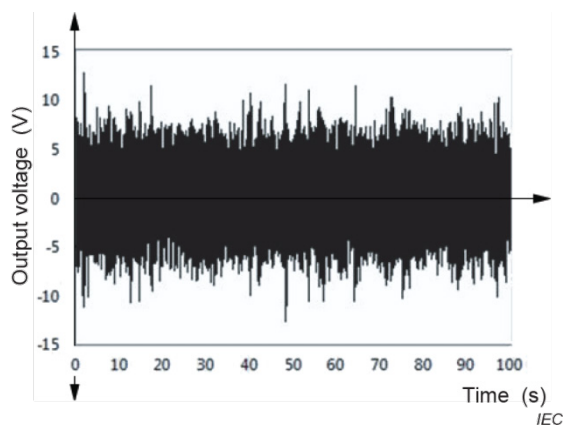
Table A.7 – Maximum output power for frequency sweeping from 15 Hz to 45 Hz

Acceleration	Sweep-up (15 Hz to 45 Hz)		Sweep-down (15 Hz to 45 Hz)	
	Maximum power	Frequency	Maximum power	Frequency
0,49 m/s ²	19,9 μW	30,6 Hz	20,9 μW	30,4 Hz
0,98 m/s ²	79,0 μW	30,7 Hz	77,9 μW	30,4 Hz
1,47 m/s ²	99,9 μW	30,5 Hz	99,3 μW	30,4 Hz
1,96 m/s ²	100,3 μW	30,5 Hz	97,5 μW	30,4 Hz

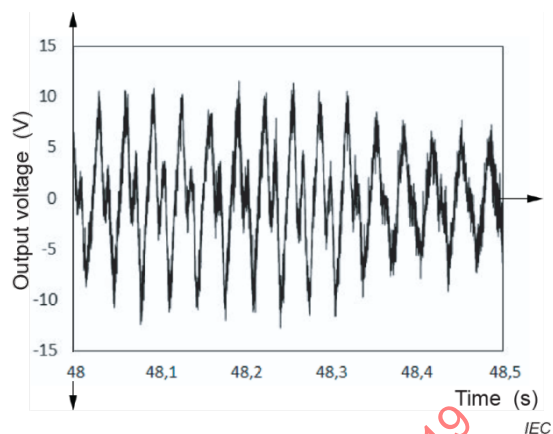
A.2.9 Measurement conditions and measurement results for random vibration

Random vibration with white noise between 5 Hz and 100 Hz is employed. The external load was chosen as 15,1 MΩ. Acceleration spectral density is 0,02 (m/s²)²/Hz, 0,125 (m/s²)²/Hz, and 0,5 (m/s²)²/Hz. The ambient temperature was 23,3 °C. The measurement time is 100 s.

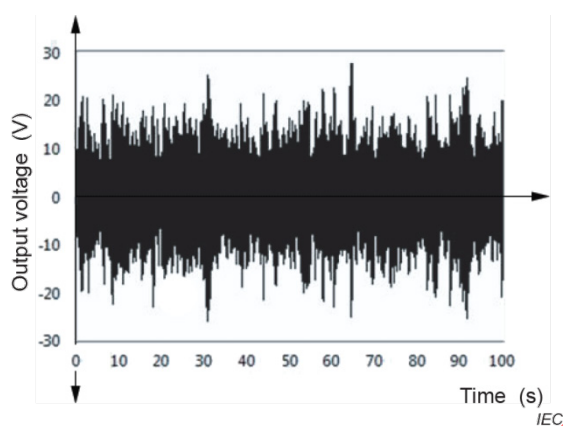
Figure A.7 shows the output voltage waveforms for random vibrations. The voltage amplitude and wave number change in time because the excitation frequency is randomly mixed and changing. The peak-to-peak/RMS output voltages and mean output power over 100 s are summarized in Table A.8.



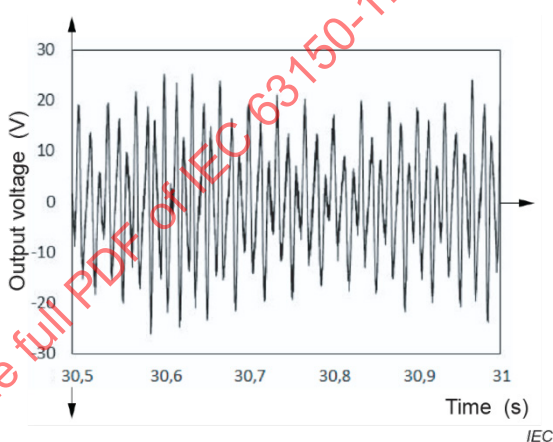
a) 0,02 (m/s²)²/Hz



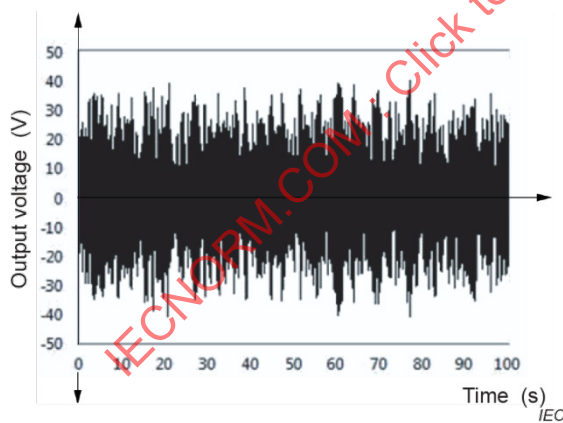
b) 0,02 (m/s²)²/Hz (magnified plot)



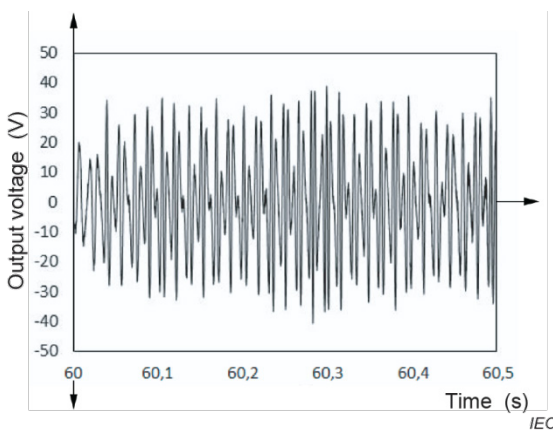
c) 0,125 (m/s²)²/Hz



d) 0,125 (m/s²)²/Hz (magnified plot)



e) 0,5 (m/s²)²/Hz



f) 0,5 (m/s²)²/Hz (magnified plot)

Figure A.7 – Voltage waveforms for the random vibration with different acceleration spectral densities

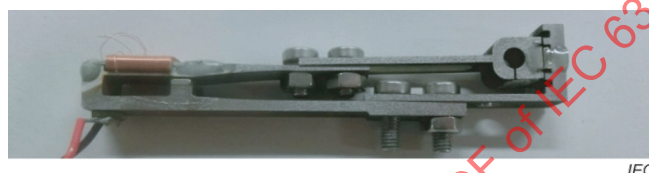
Table A.8 – Peak-to-peak voltage, RMS output voltage, and mean output power for random vibration

Acceleration spectral density	Peak-to-peak output voltage	RMS output voltage	Mean output power
0,02 (m/s ²) ² /Hz	25,5 V	2,21 V	0,32 µW
0,125 (m/s ²) ² /Hz	53,8 V	5,07 V	1,70 µW
0,5 (m/s ²) ² /Hz	81,1 V	9,56 V	6,06 µW

A.3 Inverse-magnetostrictive energy harvester with nonlinear spring

A.3.1 Shape, weight and dimensions of tested energy harvesting device

Figure A.8 shows the photo of the magnetostrictive energy harvester. Its dimensions are 59 mm × 11mm × 8 mm, and its weight is 14,2 g.

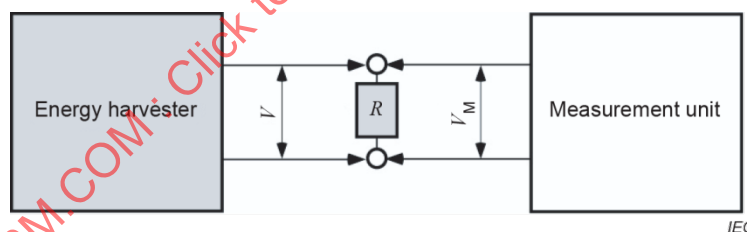


IEC

Figure A.8 – Photo of the magnetostrictive energy harvester

A.3.2 Characteristics of the read-out circuit

Figure A.9 shows the measurement circuit. The output voltage across the load is given by $V = V_M$, where V_M , R are the measured voltage and the load resistance.



IEC

Figure A.9 – Measurement circuit

In the present test, a digital oscilloscope is used for the voltage measurement. The input impedance, the measurement accuracy, and the sampling frequency are respectively 10 MΩ, 0,005 %, and 10 kHz. The load resistance is 100 Ω.

A.3.3 Characteristics of the vibration exciter

The vibration exciter was employed for sinusoidal vibration as summarized in Table A.9.

Table A.9 – Vibration exciter used in sinusoidal vibration

Maximum sine force	98 N _{0-p}
Maximum amplitude	10 mm _{p-p}
Frequency range	3 Hz to 13 kHz
Background vibration acceleration	NA
Transverse sensitivity ratio	NA
Maximum acceleration	264,8 m/s ² without load

A.3.4 Type, frequency response and accuracy of acceleration sensor

The acceleration sensor was employed for sinusoidal and random vibrations as summarized in Table A.10.

Table A.10 – Acceleration sensor used in sinusoidal and random vibrations

Type	Piezoelectric
Frequency range	1 kHz to 7 kHz ± 1 dB
Sensitivity	6,42 pC/(m/s ²)
Capacitance	720 pF
Maximum acceleration	5 000 m/s ²

A.3.5 Method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter

Bolts are used to fix the energy harvester on the vibration exciter.

A.3.6 Vibration direction with respect to the gravity direction

The vibration direction is in the gravitational direction.

A.3.7 Measurement conditions and measurement results for sinusoidal vibration

The rated frequency and the external load were chosen as 116 Hz and 100 Ω . The acceleration (zero to peak) is 4,9 m/s² and 9,8 m/s². The ambient temperature was 24,0 °C.

Figure A.10 shows the output power for a 98 Hz sinusoidal excitation versus the external load at the zero-to-peak acceleration of 9,8 m/s², showing the matched impedance is 100 Ω . Figure A.11 shows the voltage waveform for a 116 Hz sinusoidal excitation at different accelerations. The amplitude is increased with the acceleration. The RMS output voltage and the mean output power are summarized in Table A.11.

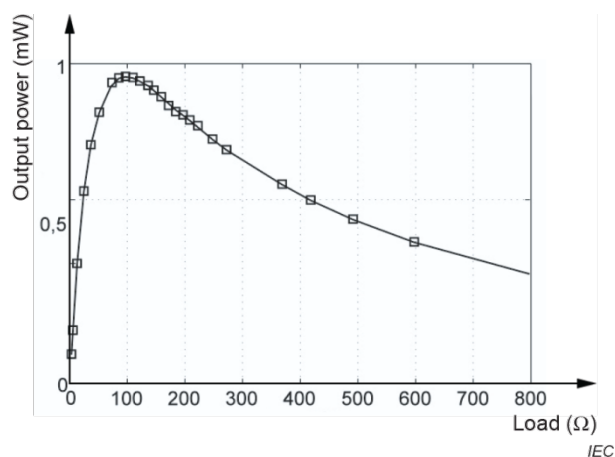


Figure A.10 – Output power for sinusoidal excitation at 98 Hz versus the external load (zero-to-peak acceleration is $9,8 \text{ m/s}^2$)

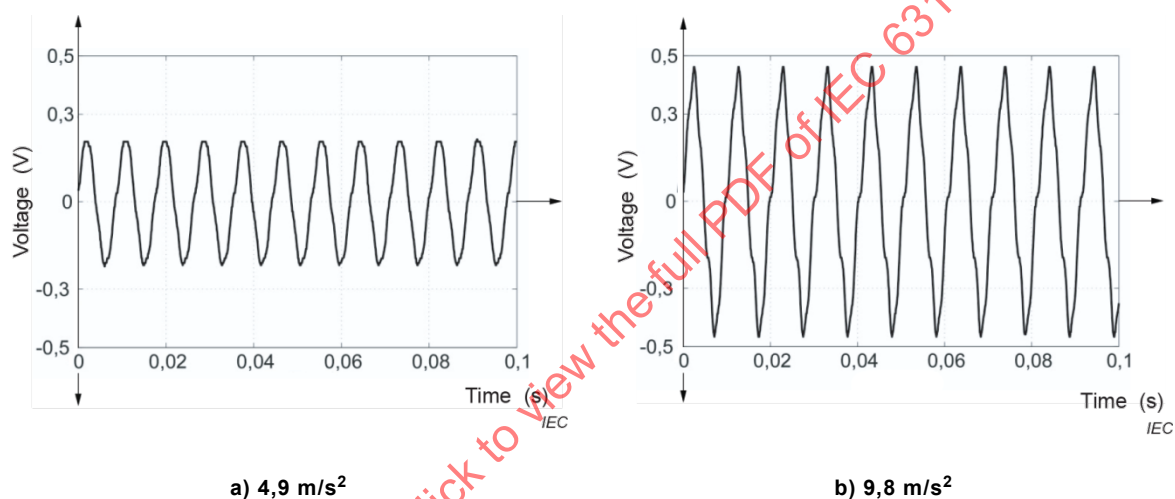


Figure A.11 – Voltage waveforms for 116 Hz sinusoidal excitation at different zero-to-peak accelerations

Table A.11 – Output voltage and power for sinusoidal excitation at the rated frequency

Acceleration (0-p)	RMS output voltage	Mean output power
$4,9 \text{ m/s}^2$	0,15 V	$240 \text{ } \mu\text{W}$
$9,8 \text{ m/s}^2$	0,28 V	$950 \text{ } \mu\text{W}$

A.3.8 Measurement conditions and measurement results for frequency sweep

The range of the frequency sweep, the sweeping speed, and the external load were chosen as from 60 Hz to 180 Hz, 0,2 octave/min, and 100 Ω . The acceleration (zero to peak) is $4,8 \text{ m/s}^2$ and $9,8 \text{ m/s}^2$. The ambient temperature was $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figure A.12 shows the voltage waveforms during frequency sweeping for different accelerations. The voltage amplitude changes in time because the excitation frequency continuously changes from 60 Hz to 180 Hz, then from 180 Hz to 60 Hz. In addition, the resonant peak leans to the low frequency side due to the nonlinear spring.

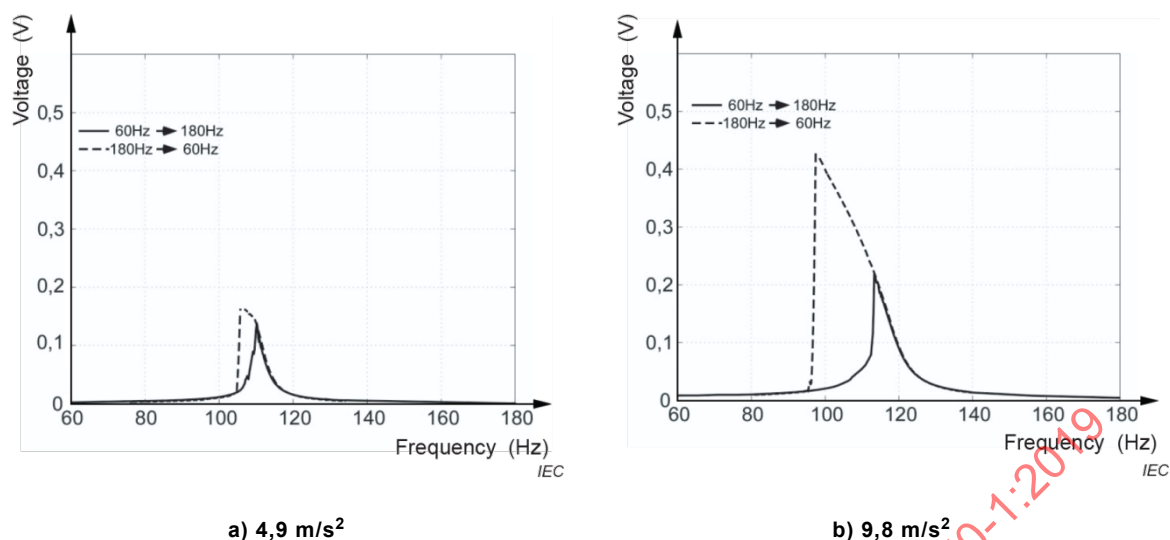


Figure A.12 – Power spectra of the output voltage for frequency sweeping from 60 Hz to 180 Hz at different zero-to-peak accelerations

A.3.9 Measurement conditions and measurement results for random vibration

Random vibration with white noise between 1 Hz and 1 kHz is employed. The external load was chosen as 100 Ω . Acceleration spectral density is 0,49 (m/s²)²/Hz. The ambient temperature was 24 °C. The measurement time is 5 s.

Figure A.13 shows the output voltage waveforms for random vibrations. The voltage amplitude and wave number change in time because the excitation frequency is randomly mixed and changing. The RMS output voltages and mean output power over 5 s are summarized in Table A.12.

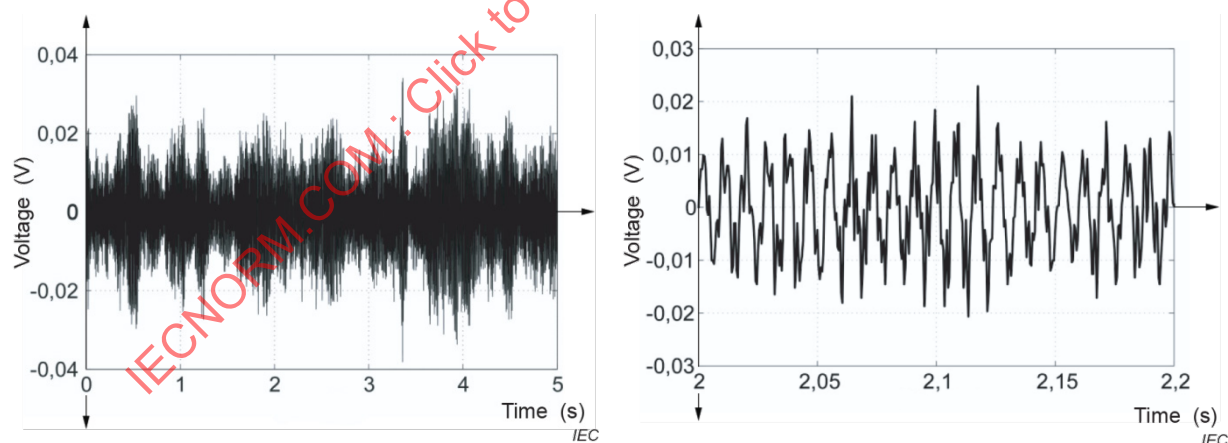


Figure A.13 – Voltage waveforms for the random vibration 0,49 (m/s²)²/Hz

Table A.12 – RMS output voltage and mean output power for random vibration

Acceleration spectral density	RMS output voltage	Mean output power
0,49 (m/s ²) ² /Hz	10 mV	0,96 μ W

A.4 Piezoelectric energy harvester with broadband response

A.4.1 Shape, weight and dimensions of tested energy harvesting device

Figure A.14 shows the photo of the piezoelectric energy harvester. Its dimensions are 55 mm × 60 mm × 35 mm, and its weight is 280 g.

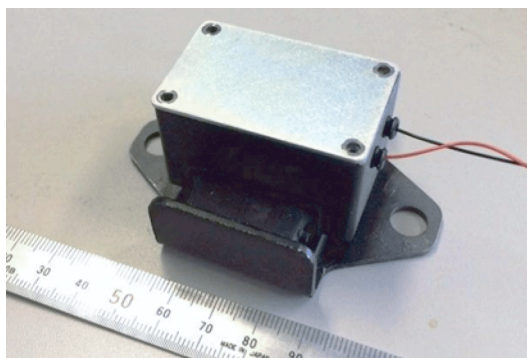


Figure A.14 – Photo of the piezoelectric energy harvester

A.4.2 Characteristics of the read-out circuit

Figure A.15 shows the read-out circuit with voltage divider. The output voltage across the load is given by

$$V = V_M \frac{R}{R_M},$$

where V_M , R , R_M are the measured voltage, the total load, and the resistance of the measurement section. The total load R is given by $R = R_M + R_H$, and R_M is given with the resistance of the voltage divider R_L and the input impedance of the measurement unit R_I , i.e.,

$$R_M = \frac{R_L R_I}{(R_L + R_I)}$$

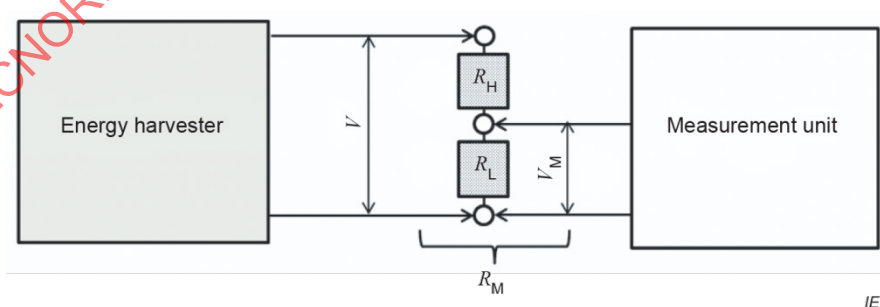


Figure A.15 – Read-out circuit using a voltage divider

In the present test, an analogue-to-digital converter (± 5 V range) is used for the voltage measurement. The input impedance R_I , the measurement accuracy, and the sampling frequency are respectively 305 k Ω , 0,05 %, and 1 650 Hz. $R_H = 110$ k Ω and $R_L = 5$ k Ω , so that R_M is almost the same as R_L .

A.4.3 Characteristics of the vibration exciter

Different vibration exciters were employed for sinusoidal vibration and random vibration as summarized in Tables A.13 and A.14.

Table A.13 – Vibration exciter used in sinusoidal vibration

Maximum sine force	500 N _{0-p}
Maximum amplitude	25 mm _{p-p}
Frequency range	5 Hz to 5 kHz
Background vibration acceleration	< 0,01 m/s ² _{rms} with 3 kg load
Transverse sensitivity ratio	< 10 % at 10 m/s ² (5 Hz to 1 000 Hz)
Maximum acceleration	416,7 m/s ² without load

Table A.14 – Vibration exciter used in random vibration

Maximum sine force	500 N _{0-p}
Maximum amplitude	50 mm _{p-p}
Frequency range	5 Hz to 5 kHz
Background vibration acceleration	NA
Transverse sensitivity ratio	NA
Maximum acceleration	217 m/s ²

A.4.4 Type, frequency response and accuracy of acceleration sensor

Different acceleration sensors were employed for sinusoidal vibration and random vibration as summarized in Tables A.15 and A.16.

Table A.15 – Acceleration sensor used in sinusoidal vibration

Type	Piezoelectric
Frequency range	f_c to 10 kHz ± 1 dB
Sensitivity	3,0 $\pm$ 10 % pC/(m/s ²)
Capacitance	1 500 pF
Maximum acceleration	9 800 m/s ²

Table A.16 – Acceleration sensor used in random vibration

Type	Piezoelectric
Frequency range	f_c to 3 kHz ± 1 dB
Sensitivity	1 000 pC/(m/s ²)
Capacitance	5 600 pF
Maximum acceleration	4 900 m/s ²

A.4.5 Method for fixation of the energy harvesting device on the vibration exciter

A double-side adhesive tape (0,16 mm-thick, non-woven fabric, acrylic adhesive) is used to fix the energy harvester on the vibration exciter.

A.4.6 Vibration direction with respect to the gravity direction

The vibration direction is in the gravitational direction.

A.4.7 Measurement conditions and measurement results for sinusoidal vibration

Rated frequency and the external load was chosen as 40 Hz and 115 k Ω . The acceleration (zero to peak) is 0,49 m/s², 0,98 m/s², and 1,96 m/s². The ambient temperature was 20 °C.

Figure A.16 shows the output power for a 40 Hz sinusoidal excitation versus the external load for the zero-to-peak acceleration of 0,98 m/s², showing the matched impedance is about 56 k Ω . Figure A.17 shows the voltage waveform for a 40 Hz sinusoidal excitation at different accelerations. The waveforms look sinusoidal, and the amplitude is increased with the acceleration. The RMS output voltage and the mean output power are summarized in Table A.17.

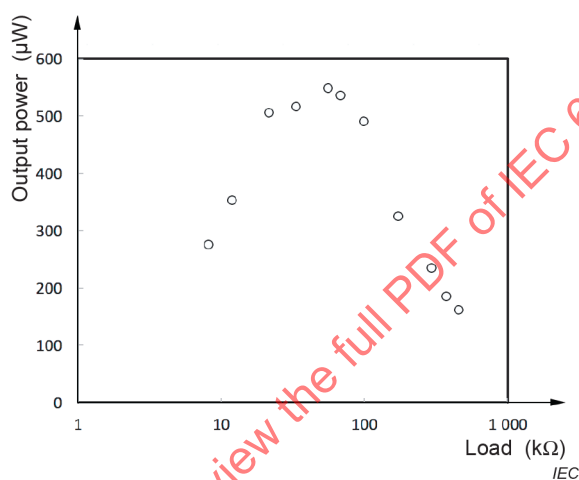


Figure A.16 – Output power for 40 Hz sinusoidal excitation versus the external load (zero-to-peak acceleration is 0,98 m/s²)

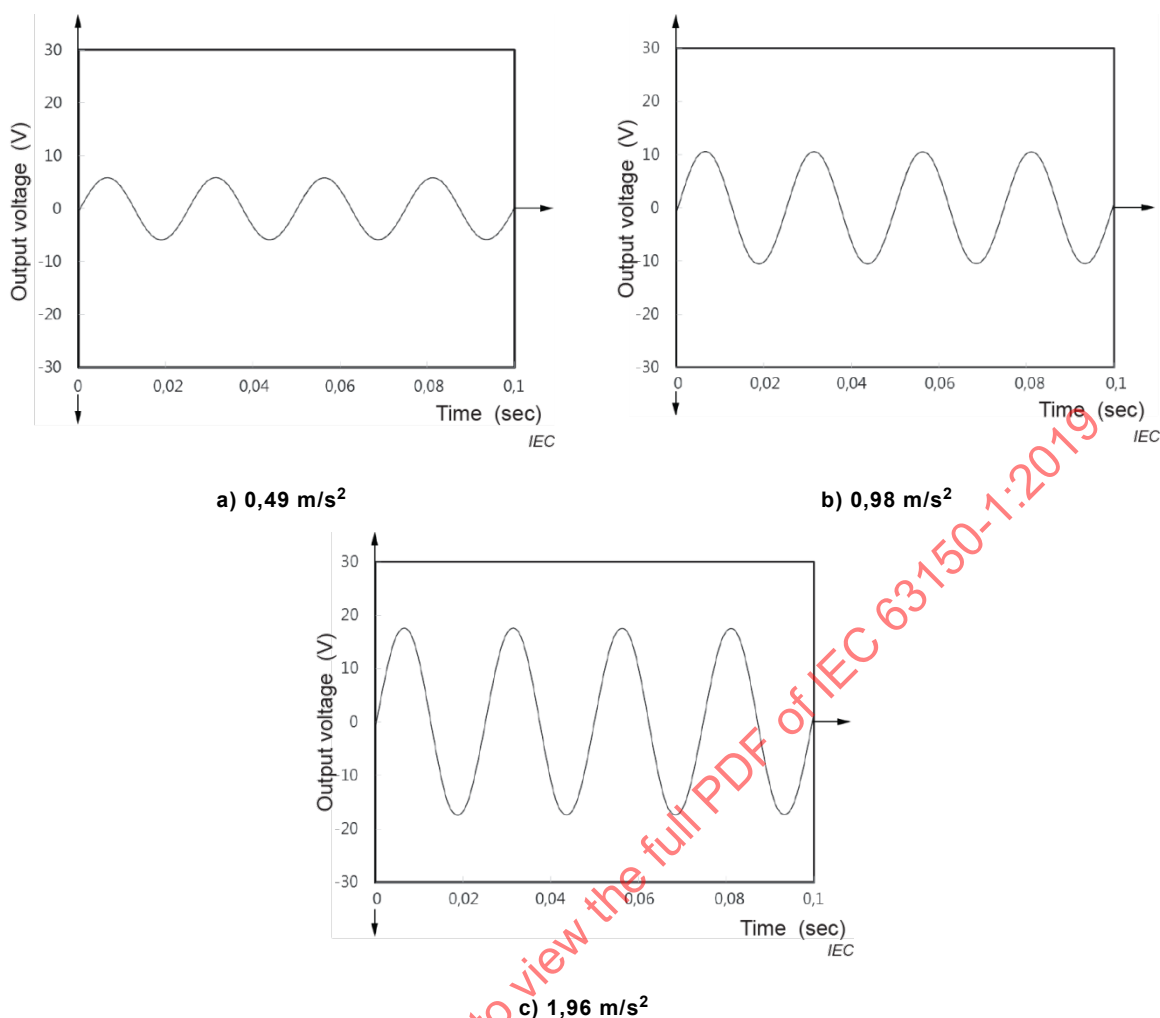


Figure A.17 – Voltage waveforms for 40 Hz sinusoidal excitation at different zero-to-peak accelerations

Table A.17 – Output voltage and power for sinusoidal excitation at the rated frequency

Acceleration (0-p)	RMS output voltage	Mean output power
0,49 m/s ²	4,30 V	161 µW
0,98 m/s ²	7,73 V	519 µW
1,96 m/s ²	12,8 V	1423 µW

A.4.8 Measurement conditions and measurement results for frequency sweep

The range of the frequency sweep, the sweeping speed, and the external load were chosen as from 20 Hz to 60 Hz, 0,25 octave/min, and 115 kΩ. The acceleration (zero to peak) is 0,49 m/s², 0,98 m/s², and 1,96 m/s². The ambient temperature was 20 °C.

Figure A.18 shows the voltage waveforms during frequency sweeping for different accelerations. The voltage amplitude changes in time because the excitation frequency continuously changes from 20 Hz to 60 Hz, then from 60 Hz to 20 Hz. The RMS output voltage and the mean output power are summarized in Table A.18.

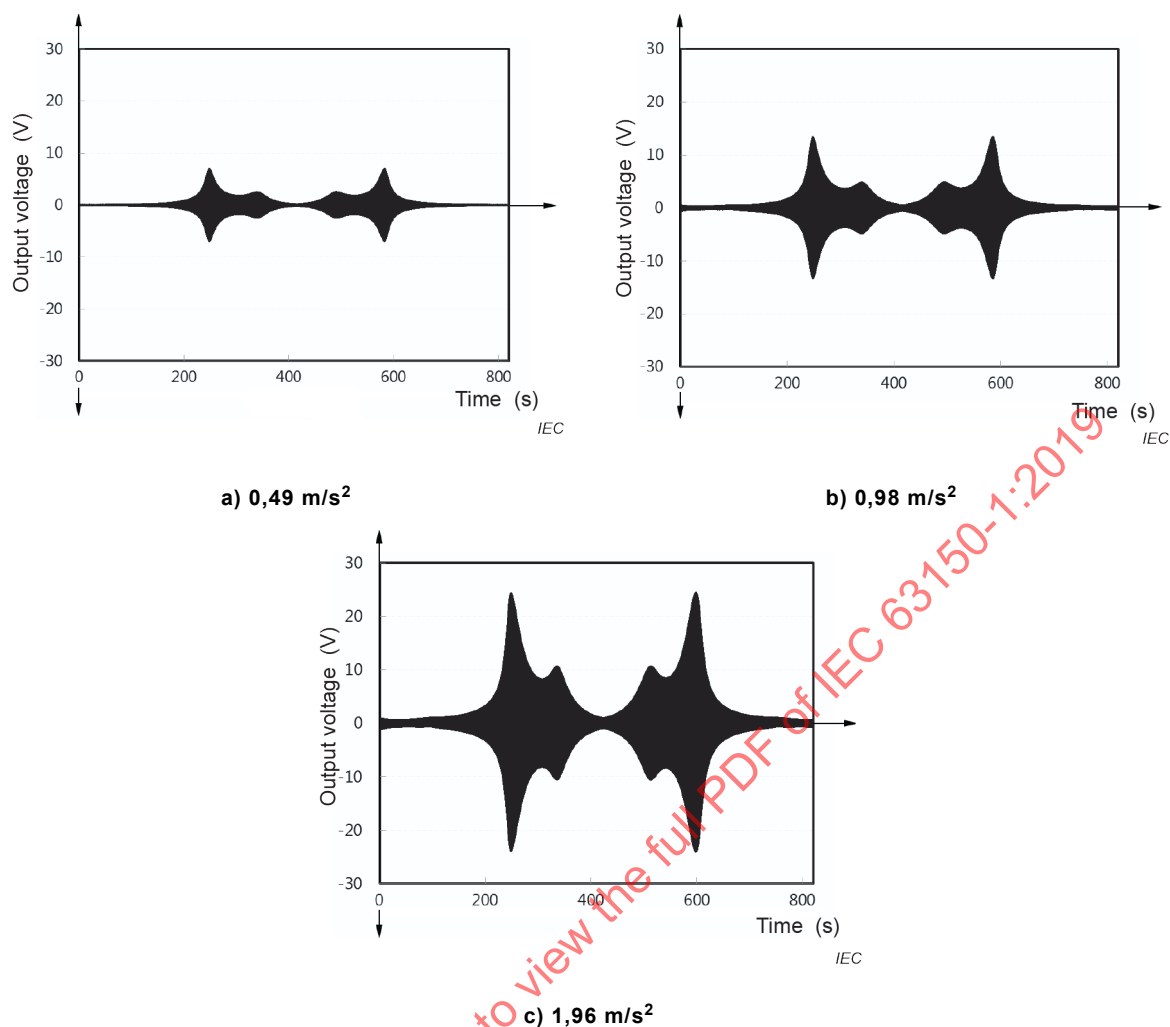


Figure A.18 – Voltage waveforms for frequency sweeping from 20 Hz to 60 Hz at different zero-to-peak accelerations

Table A.18 – Output voltage for sinusoidal excitation with frequency sweeping

Acceleration (0-p)	Peak-to-peak output voltage	RMS output voltage
0,49 m/s ²	14,3 V	1,40 V
0,98 m/s ²	26,8 V	2,62 V
1,96 m/s ²	48,6 V	5,40 V

Figure A.19 shows the power spectra of the output power for frequency sweeping from 20 Hz to 80 Hz. Almost no discrepancy is found for the sweep-up (from 20 Hz to 60 Hz) and the sweep-down (from 60 Hz to 20 Hz). Table A.19 summarizes the maximum output power for the sweep-up/-down and its frequency.

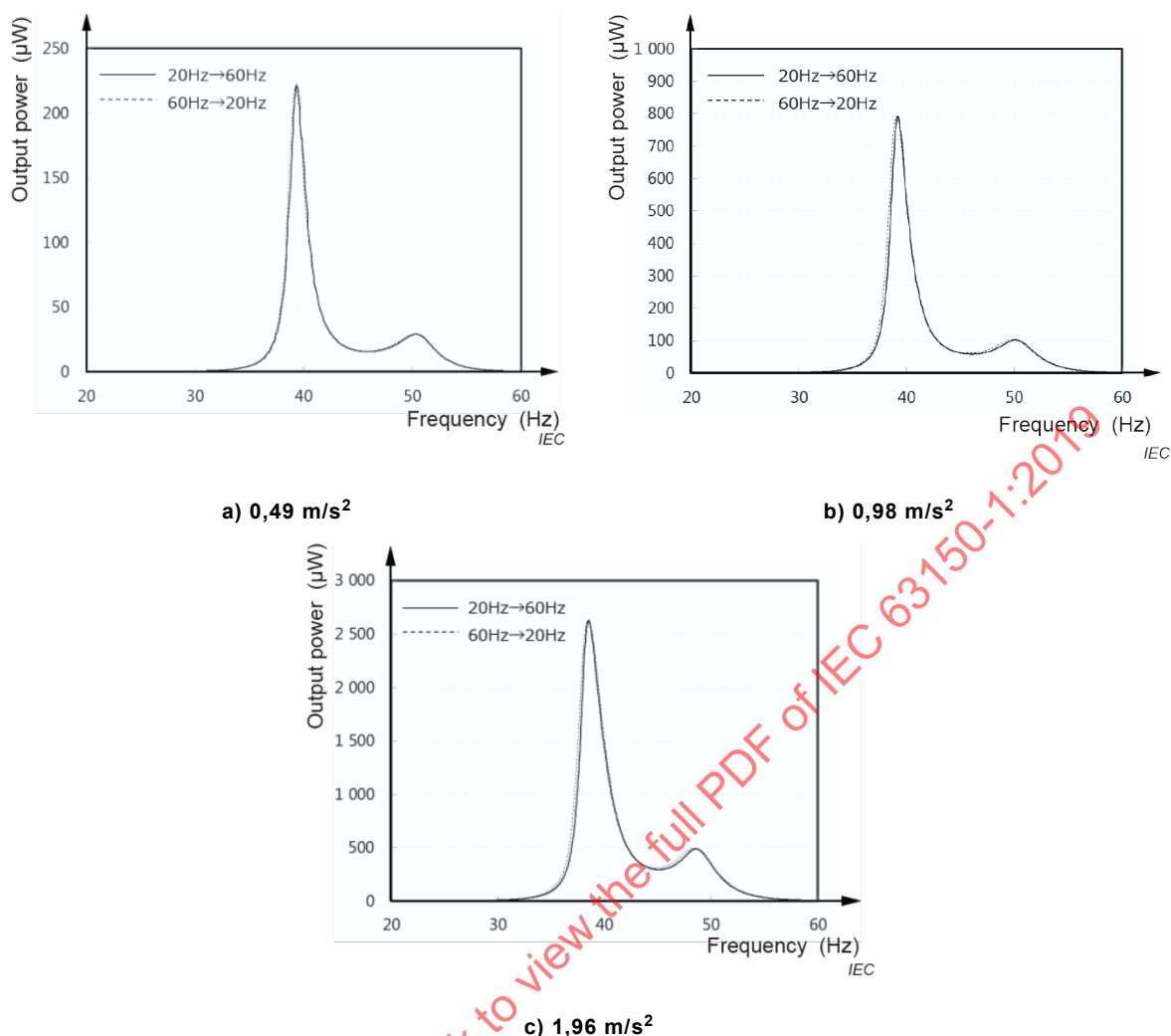


Figure A.19 – Power spectra of the output power for frequency sweeping from 20 Hz to 60 Hz at different zero-to-peak accelerations

Table A.19 – Maximum output power for frequency sweeping from 20 Hz to 60 Hz

Acceleration	Sweep-up (20 Hz to 60 Hz)		Sweep-down (60 Hz to 20 Hz)	
	Maximum power	Frequency	Maximum power	Frequency
0,49 m/s ²	222 µW	39.3 Hz	221 µW	39.1 Hz
0,98 m/s ²	792 µW	39.1 Hz	793 µW	39.0 Hz
1,96 m/s ²	2 631 µW	38.5 Hz	2 625 µW	38.4 Hz

A.4.9 Measurement conditions and measurement results for random vibration

Random vibration with white noise between 5 Hz and 100 Hz is employed. The external load was chosen as 115 kΩ. Acceleration spectral density is 0,02 (m/s²)²/Hz, 0,125 (m/s²)²/Hz, and 0,5 (m/s²)²/Hz. The ambient temperature was 25 °C. The measurement time is 80 s.

Figure A.20 shows the output voltage waveforms for random vibrations. The voltage amplitude changes in time because the excitation frequency continuously changes from from 20 Hz to 60 Hz, then from 60 Hz to 20 Hz. The peak-to-peak/RMS output voltages and mean output power over 80 s are summarized in Table A.20.

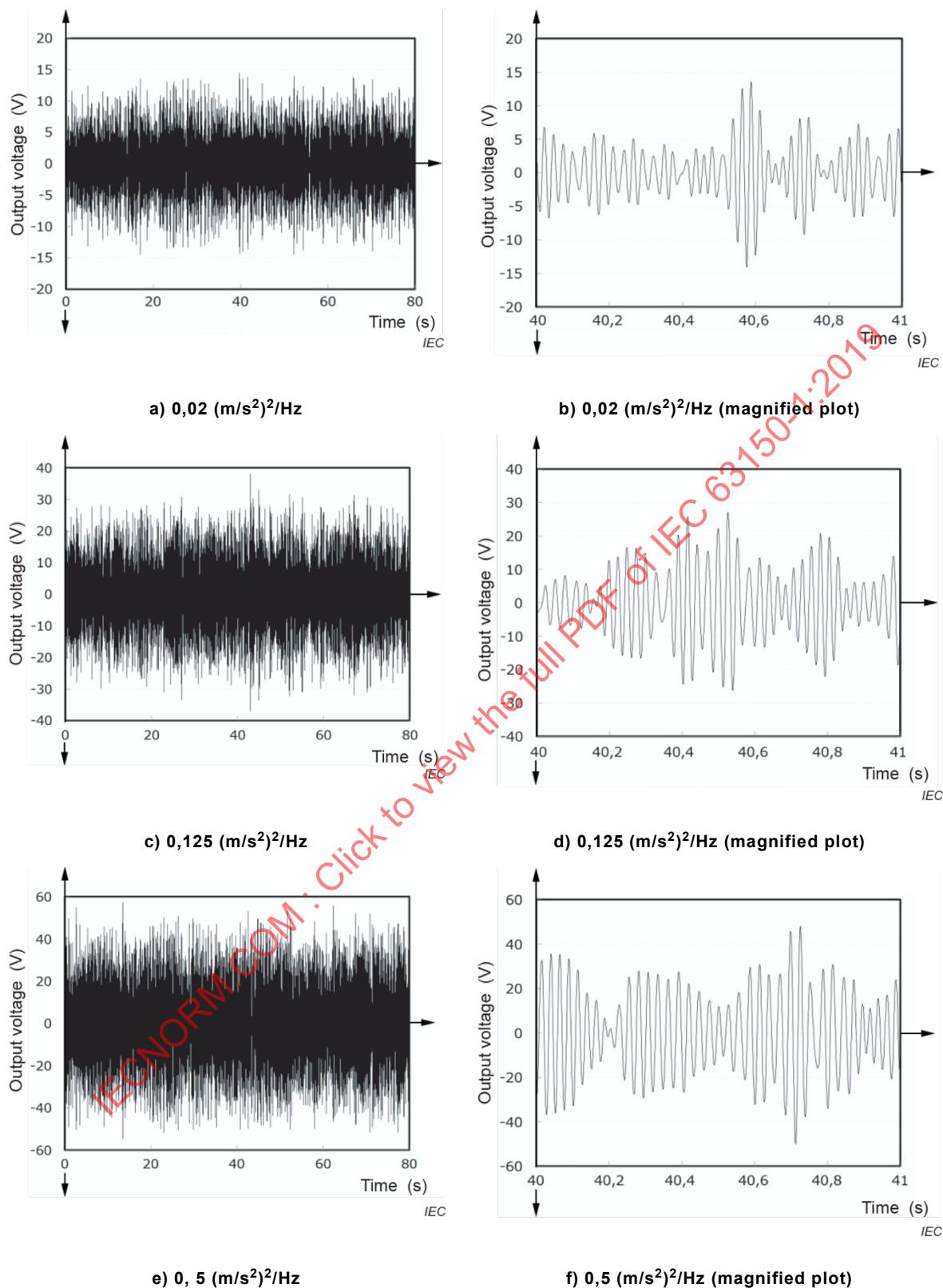


Figure A.20 – Voltage waveforms for the random vibration at different acceleration spectral densities

**Table A.20 – Peak-to-peak voltage, RMS output voltage,
and mean output power for random vibration**

Acceleration spectral density	Peak-to-peak output voltage	RMS output voltage	Mean output power
0,02 (m/s ²) ² /Hz	29,0 V	4,06 V	142 µW
0,125 (m/s ²) ² /Hz	75,3 V	9,85 V	838 µW
0,5 (m/s ²) ² /Hz	111,9 V	18,0 V	2 797 µW

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

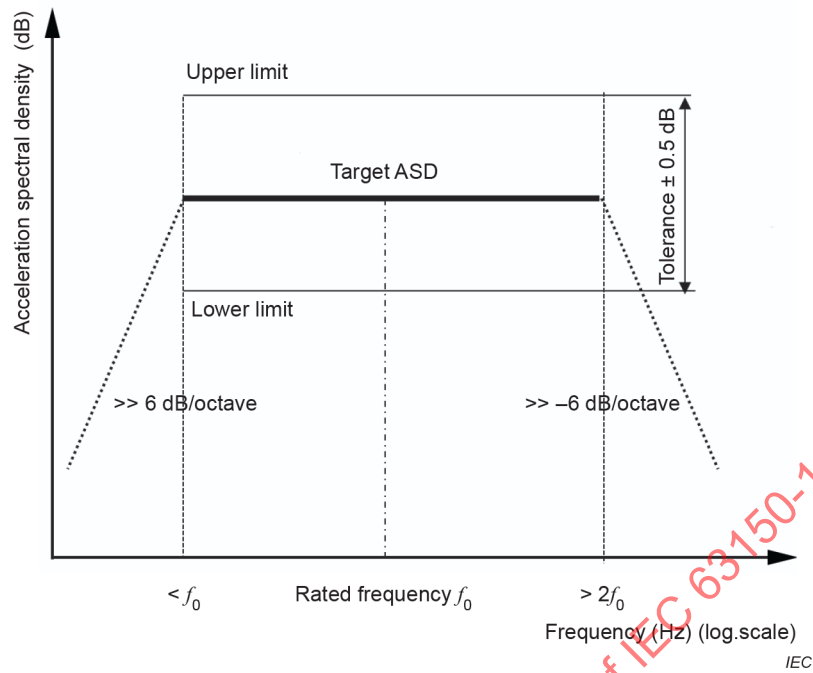
Annex B (informative)

Definition of random vibration

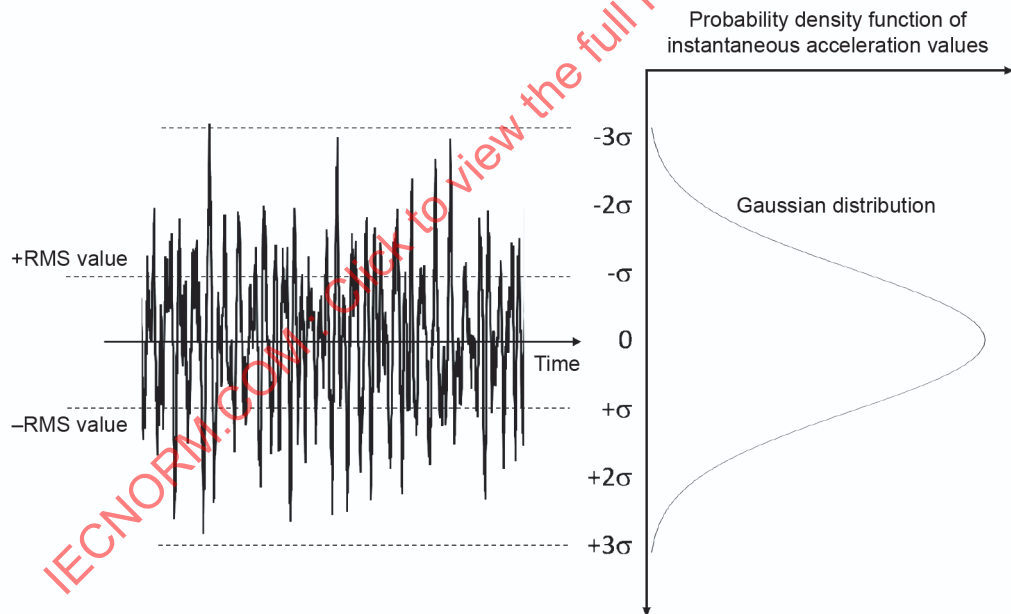
In ISO 2041, random vibration is defined as “vibration where the instantaneous value cannot be predicted”. On the other hand, in IEC 60068-2-64, acceleration spectral density (ASD) shall be within ± 3 dB, and the instantaneous acceleration values shall have an approximately Gaussian distribution.

Since the output power of kinetic energy harvesting devices is sensitive to vibration acceleration, the tolerance for ASD shall be smaller than that for ISO 2041. Recommended tolerance is $\pm 0,5$ dB. The initial slope ($< 0,5 f_0$) shall be much steeper than 6 dB/octave, while the final slope ($> 2 f_0$) shall be much steeper than -6 dB/octave. It is also recommended that the random vibration satisfies the Gaussian distribution. However, since producing random vibration with Gaussian probability distribution function (PDF) usually requires a sophisticated vibration controller, the requirement for PDF is relaxed for the random vibration in this document. These conditions are depicted in Figure B.1.

An example of random vibration data is shown in Figure B.2. In this example, a magnetic vibration exciter, an amplifier, and a piezoelectric accelerometer are employed together with a vibration controller having a feed-back function. The targeted ASD is constant at $0,1 \text{ (m/s}^2\text{)}^2/\text{Hz}$ in the frequency range from 80 Hz to 120 Hz. As shown in Figure B.2(a), the recommended tolerance of $\pm 0,5$ dB is realized. The initial and final slopes of the acceleration are respectively +8,6 dB/octave and -8,8 dB/octave, which also satisfies the condition described above. In addition, the probability function of acceleration is in reasonable agreement with the Gaussian distribution as depicted in Figure B.2(b).



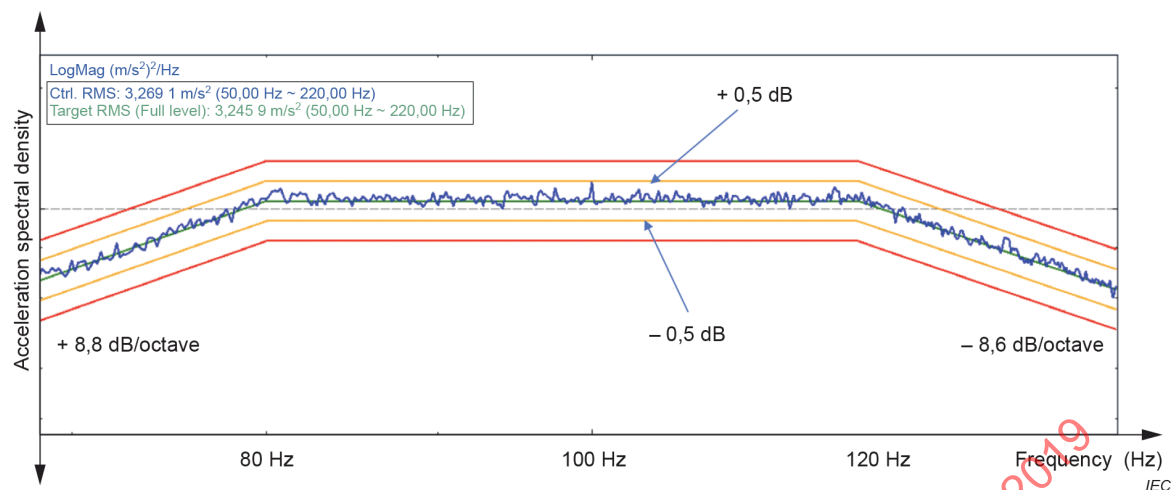
a) Acceleration spectral density for random vibration



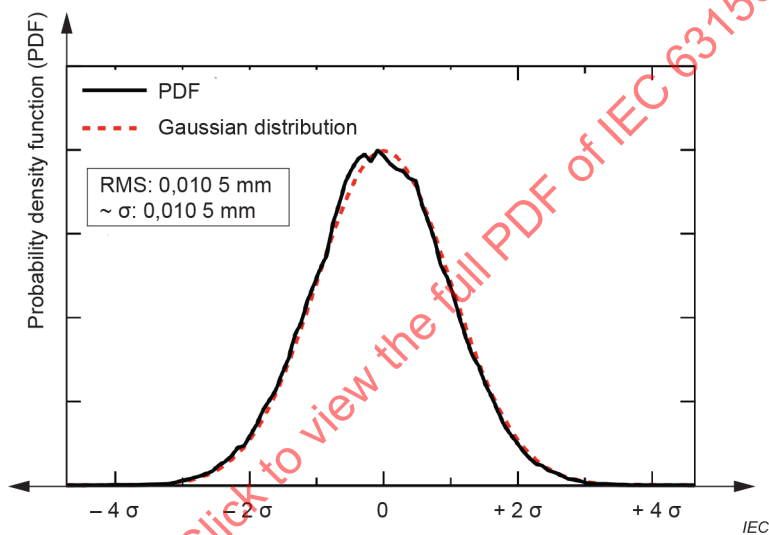
IEC

b) Probability distribution function of instantaneous acceleration values for random vibration

Figure B.1 – Random vibration with uniform acceleration spectral density



a) Acceleration spectral density



b) Probability distribution of instantaneous displacement

Figure B.2 – Example data of random vibration

Bibliography

IEC 60068-2-64, *Environmental testing – Part 2-64: Tests – Test Fh: Vibration, broadband random and guidance*

IEC 60749-12:2009, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 12: Vibration, variable frequency*

IEC 62830-1, *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation – Part 1: Vibration based piezoelectric energy harvesting*

IEC 62830-3, *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation – Part 3: Vibration based electromagnetic energy harvesting*

IEC 62047-28, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 28: Performance testing method of vibration-driven MEMS electret energy harvesting devices*

ISO 2041, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary*

ISO 15261, *Vibration and shock generating system – Vocabulary*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	42
1 Domaine d'application	44
2 Références normatives	44
3 Termes et définitions	44
4 Caractéristiques des dispositifs de captage d'énergie cinétique	45
5 Équipement d'essai de vibrations	45
5.1 Généralités	45
5.2 Excitateur de vibrations	46
5.3 Dispositif de montage	46
5.4 Capteur d'accélération	47
5.5 Circuit de lecture	47
5.6 Enregistreur de données	47
6 Préparation du banc d'essai et du dispositif	47
6.1 Généralités	47
6.2 Appréciation des conditions de vibrations	47
6.3 Appréciation du bruit électronique	47
7 Méthodes d'essai	48
7.1 Charge extérieure	48
7.2 Durée des essais	48
7.3 Environnement d'essai	48
7.4 Conditions de mesure	48
8 Modes opératoires de mesure	48
8.1 Généralités	48
8.2 Réponse à fréquence unique	49
8.3 Réponse à un balayage de fréquence	49
8.4 Réponse à des vibrations aléatoires	49
9 Rapport d'essai	49
Annexe A (informative) Exemple de mesure à effectuer sur le dispositif de captage d'énergie cinétique	51
A.1 Généralités	51
A.2 Dispositif de captage d'énergie à électret à ressort linéaire	51
A.2.1 Forme, poids et dimensions du dispositif de captage d'énergie soumis à essai	51
A.2.2 Caractéristiques du circuit de lecture	51
A.2.3 Caractéristiques de l'excitateur de vibrations	52
A.2.4 Type, réponse en fréquence et précision du capteur d'accélération	52
A.2.5 Mode de fixation du dispositif de captage d'énergie sur l'excitateur de vibrations	53
A.2.6 Direction des vibrations par rapport à la direction de la gravité	53
A.2.7 Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations sinusoïdales	53
A.2.8 Conditions de mesure et résultats de mesure pour le balayage de fréquence	55
A.2.9 Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations aléatoires	57
A.3 Dispositif de captage d'énergie magnétostrictif inverse à ressort non linéaire	59

A.3.1	Forme, poids et dimensions du dispositif de captage d'énergie soumis à essai.....	59
A.3.2	Caractéristiques du circuit de lecture	59
A.3.3	Caractéristiques de l'excitateur de vibrations	59
A.3.4	Type, réponse en fréquence et précision du capteur d'accélération	60
A.3.5	Mode de fixation du dispositif de captage d'énergie sur l'excitateur de vibrations.....	60
A.3.6	Direction des vibrations par rapport à la direction de la gravité	60
A.3.7	Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations sinusoïdales	60
A.3.8	Conditions de mesure et résultats de mesure pour le balayage de fréquence	61
A.3.9	Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations aléatoires	62
A.4	Dispositif de captage d'énergie piézoélectrique à réponse à bande large	63
A.4.1	Forme, poids et dimensions du dispositif de captage d'énergie soumis à essai.....	63
A.4.2	Caractéristiques du circuit de lecture	63
A.4.3	Caractéristiques de l'excitateur de vibrations	64
A.4.4	Type, réponse en fréquence et précision du capteur d'accélération	64
A.4.5	Mode de fixation du dispositif de captage d'énergie sur l'excitateur de vibrations.....	64
A.4.6	Direction des vibrations par rapport à la direction de la gravité	65
A.4.7	Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations sinusoïdales	65
A.4.8	Conditions de mesure et résultats de mesure pour le balayage de fréquence	66
A.4.9	Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations aléatoires	68
Annexe B (informative)	Définition des vibrations aléatoires	71
Bibliographie.....		74
Figure 1 – Équipement d'essai pour dispositif de captage d'énergie cinétique concernant les vibrations mécaniques.....		46
Figure A.1 – Photographie du dispositif de captage d'énergie à électret.....		51
Figure A.2 – Circuit de lecture utilisant un diviseur de tension		52
Figure A.3 – Puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale de 30,4 Hz en fonction de la charge extérieure.....		54
Figure A.4 – Formes d'onde de tension pour une excitation sinusoïdale de 30,4 Hz à différentes accélérations de zéro à crête.....		54
Figure A.5 – Tensions de sortie maximale,minimale, et efficace pour un balayage de fréquence à différentes accélérations de zéro à crête		56
Figure A.6 – Puissance de sortie pour un balayage de fréquence entre 15 Hz et 45 Hz à différentes accélérations de zéro à crête.....		57
Figure A.7 – Formes d'onde de tension pour des vibrations aléatoires ayant différentes densités spectrales d'accélération		58
Figure A.8 – Photographie du dispositif de captage d'énergie magnétostrictif		59
Figure A.9 – Circuit de mesure.....		59
Figure A.10 – Puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale de 98 Hz en fonction de la charge extérieure (l'accélération de zéro à crête est de 9,8 m/s ²).....		61

Figure A.11 – Formes d'onde de tension pour une excitation sinusoïdale de 116 Hz à différentes accélérations de zéro à crête.....	61
Figure A.12 – Spectres de puissance de la tension de sortie pour un balayage de fréquence entre 60 Hz et 180 Hz à différentes accélérations de zéro à crête	62
Figure A.13 – Formes d'onde de tension pour des vibrations aléatoires de 0,49 (m/s ²) ² /Hz.....	62
Figure A.14 – Photographie du dispositif de captage d'énergie piézoélectrique.....	63
Figure A.15 – Circuit de lecture utilisant un diviseur de tension	63
Figure A.16 – Puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale de 40 Hz en fonction de la charge extérieure (l'accélération de zéro à crête est de 0,98 m/s ²).....	65
Figure A.17 – Formes d'onde de tension pour une excitation sinusoïdale de 40 Hz à différentes accélérations de zéro à crête.....	66
Figure A.18 – Formes d'onde de tension pour un balayage de fréquence entre 20 Hz et 60 Hz à différentes accélérations de zéro à crête.....	67
Figure A.19 – Spectres de puissance de la tension de sortie pour un balayage de fréquence entre 20 Hz et 60 Hz à différentes accélérations de zéro à crête	68
Figure A.20 – Formes d'onde de tension pour des vibrations aléatoires ayant différentes densités spectrales d'accélération	69
Figure B.1 – Vibrations aléatoires ayant une densité spectrale d'accélération uniforme	72
Figure B.2 – Exemples de données concernant les vibrations aléatoires.....	73
Tableau A.1 – Excitateur de vibrations utilisé pour les vibrations sinusoïdales.....	52
Tableau A.2 – Excitateur de vibrations utilisé pour des vibrations aléatoires	52
Tableau A.3 – Capteur d'accélération utilisé pour les vibrations sinusoïdales	53
Tableau A.4 – Capteur d'accélération utilisé pour des vibrations aléatoires	53
Tableau A.5 – Tension de sortie et puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale à la fréquence assignée.....	55
Tableau A.6 – Tension de sortie pour une excitation sinusoïdale avec un balayage de fréquence	56
Tableau A.7 – Puissance de sortie maximale pour un balayage de fréquence entre 15 Hz et 45 Hz.....	57
Tableau A.8 – Tension crête à crête, tension de sortie efficace et puissance de sortie moyenne pour des vibrations aléatoires	59
Tableau A.9 – Excitateur de vibrations utilisé pour les vibrations sinusoïdales.....	60
Tableau A.10 – Capteur d'accélération utilisé pour les vibrations sinusoïdales et aléatoires.....	60
Tableau A.11 – Tension de sortie et puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale à la fréquence assignée	61
Tableau A.12 – Tension de sortie efficace et puissance de sortie moyenne pour des vibrations aléatoires.....	62
Tableau A.13 – Excitateur de vibrations utilisé pour les vibrations sinusoïdales	64
Tableau A.14 – Excitateur de vibrations utilisé pour des vibrations aléatoires	64
Tableau A.15 – Capteur d'accélération utilisé pour les vibrations sinusoïdales	64
Tableau A.16 – Capteur d'accélération utilisé pour des vibrations aléatoires.....	64
Tableau A.17 – Tension de sortie et puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale à la fréquence assignée	66
Tableau A.18 – Tension de sortie pour une excitation sinusoïdale avec un balayage de fréquence	67

Tableau A.19 – Puissance de sortie maximale pour un balayage de fréquence entre 20 Hz et 60 Hz	68
Tableau A.20 – Tension crête à crête, tension de sortie efficace et puissance de sortie moyenne pour des vibrations aléatoires	70

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – METHODES DE MESURE ET D'EVALUATION DES DISPOSITIFS DE CAPTAGE D'ÉNERGIE CINÉTIQUE DANS UN ENVIRONNEMENT DE VIBRATIONS CONCRET –

Partie 1: Vibrations mécaniques arbitraires et aléatoires

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 63150-1 a été établie par le comité d'études 47 de l'IEC: Dispositifs à semiconducteurs.

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

FDIS	Rapport de vote
47/2548/FDIS	47/2568/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 63150, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes de mesure et d'évaluation des dispositifs de captage d'énergie cinétique dans un environnement de vibrations concret*, est disponible sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

IMPORTANT – Le logo «*colour inside*» qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – METHODES DE MESURE ET D’EVALUATION DES DISPOSITIFS DE CAPTAGE D’ÉNERGIE CINÉTIQUE DANS UN ENVIRONNEMENT DE VIBRATIONS CONCRET –

Partie 1: Vibrations mécaniques arbitraires et aléatoires

1 Domaine d’application

La présente partie de l’IEC 63150 spécifie les termes et les définitions, ainsi que les méthodes d’essai pour les dispositifs de captage d’énergie cinétique pour des vibrations mécaniques unidimensionnelles, et ce afin de déterminer les paramètres caractéristiques dans un environnement de vibrations concret. Ces dispositifs de captage d’énergie cinétique possèdent souvent leurs propres mécanismes non linéaires qui permettent de capter efficacement l’énergie de vibration dans une plage de fréquences à bande large.

Le présent document s’applique aux dispositifs de captage d’énergie de vibration correspondant à différents principes de génération d’énergie (électromagnétique, piézoélectrique, électrostatique, etc.) et à différents comportements non linéaires en réponse à l’excitation mécanique extérieure.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

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

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

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

3.1

dispositif de captage d’énergie cinétique

dispositif servant à produire de l’énergie électrique à partir de l’énergie cinétique

3.2

fréquence assignée

fréquence donnée dans la spécification

3.3

vibrations sinusoïdales

vibrations ayant une forme d’onde d’accélération sinusoïdale de fréquence donnée

3.4

vibrations aléatoires

vibrations non déterministes à spectres de fréquence à bande large ayant une densité spectrale d’accélération efficace (RMS) constante, dont la plage de fréquences est spécifiée

Note 1 à l'article: Voir Annexe B.

3.5

bruit de fond

accélération de vibration présente lorsqu'aucun signal d'entraînement n'est appliqué

3.6

rapport transverse de sensibilité

rapport de l'accélération de vibration transversale à l'accélération principale

4 Caractéristiques des dispositifs de captage d'énergie cinétique

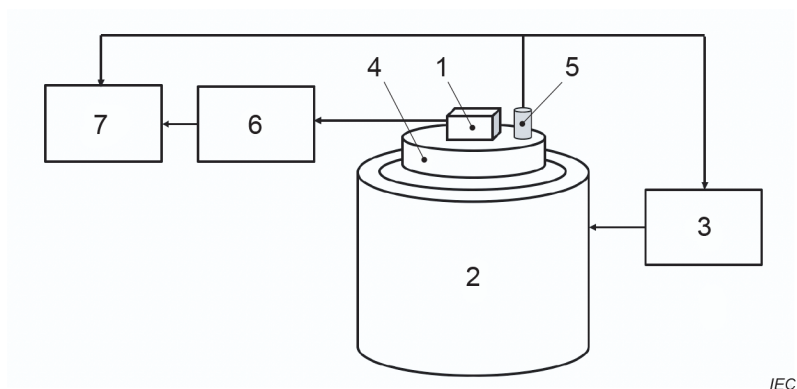
Les caractéristiques des dispositifs de captage d'énergie cinétique dépendent du mécanisme de transduction (par exemple, électromagnétique, piézoélectrique, électrostatique), de la conception des dispositifs et de la méthode utilisée pour la réponse en fréquence à bande large (par exemple, ressort non linéaire, ressort bistable, conversion à relèvement de fréquence). La tension de sortie et la puissance de sortie de ces dispositifs de captage d'énergie sont caractérisées par des mesures effectuées sous trois conditions de vibrations différentes, à savoir les vibrations sinusoïdales à fréquence unique, les vibrations avec balayage de fréquence montant ou descendant, et les vibrations aléatoires à spectres de fréquence à bande large.

Des exemples des trois différents types de dispositifs de captage d'énergie de vibration sont décrits à l'Annexe A. La définition des vibrations aléatoires est donnée à l'Annexe B.

5 Équipement d'essai de vibrations

5.1 Généralités

La Figure 1 indique les configurations fondamentales au moyen de blocs fonctionnels ou de composants conçus pour l'équipement d'essai de vibrations destiné aux dispositifs de captage d'énergie cinétique. Le détail des blocs fonctionnels ou des composants correspondant à la légende est donné dans 5.2 à 5.6.



Légende

- | | |
|--|--|
| 1 DUT ¹ : Dispositif soumis à essai | 2 Excitateur de vibrations |
| 3 Contrôleur de vibrations | 4 Dispositif de montage |
| 5 Capteur d'accélération | 6 Charge extérieure/circuit de lecture |
| 7 Enregistreur de données | |

Figure 1 – Équipement d'essai pour dispositif de captage d'énergie cinétique concernant les vibrations mécaniques

5.2 Excitateur de vibrations

L'excitateur de vibrations doit produire une accélération de vibration ayant à la fois la fréquence nécessaire et la direction nécessaire. Il convient également que l'amplitude du mouvement de vibration du DUT, perpendiculairement à la direction d'entraînement, soit suffisamment faible. La valeur recommandée pour son amplitude (rapport de sensibilité transversal) est inférieure à 10 % de l'amplitude présente dans la direction d'entraînement.

La commande d'accélération de vibration peut être effectuée par l'une quelconque des méthodes suivantes:

- commande à amplitude constante: Elle vise à maintenir l'accélération de vibration en détectant et en commandant l'amplitude des vibrations du DUT pour une fréquence de vibration donnée;
- commande à accélération efficace constante: Elle vise à maintenir l'accélération de vibration en détectant et en commandant directement l'accélération de vibration pour une fréquence de vibration donnée.

En général, lorsque la tension d'entraînement de l'excitateur de vibrations est maintenue constante, l'accélération de vibration varie en même temps que la fréquence de vibration. Par conséquent, le gain de l'excitateur de vibrations pour différentes fréquences doit être compensé au moyen d'essais de vibration préliminaires effectués à différentes fréquences ou au moyen d'une commande de rétroaction en ligne de la tension d'entraînement basée sur le signal d'accélération obtenu par le capteur d'accélération, comme représenté à la Figure 1.

5.3 Dispositif de montage

Le dispositif de montage doit permettre de fixer le dispositif de captage d'énergie cinétique soumis à essai sur l'excitateur de vibrations de telle façon que l'excitateur de vibrations puisse entraîner correctement le dispositif soumis à essai. De plus, la direction des vibrations produites par l'excitateur de vibrations doit être à plus ou moins 2° de la direction déterminée pour les vibrations du dispositif soumis à essai.

¹ DUT = device under test.

5.4 Capteur d'accélération

Le capteur d'accélération doit mesurer l'accélération de vibration du support ou du DUT.

5.5 Circuit de lecture

Le circuit de lecture doit mesurer la tension aux bornes de la charge extérieure et la puissance de sortie du dispositif de captage d'énergie cinétique avec une erreur de mesure d'au plus 3 %. La fréquence d'échantillonnage du détecteur de sortie doit être suffisamment élevée (au moins deux fois celle de la composante de fréquence la plus élevée) pour que la forme d'onde de la tension de sortie puisse être capturée avec la précision nécessaire.

5.6 Enregistreur de données

Le système d'essai des dispositifs de captage d'énergie cinétique doit contenir un enregistreur de données servant à collecter des données d'enregistrement.

6 Préparation du banc d'essai et du dispositif

6.1 Généralités

Les dispositifs de captage d'énergie cinétique destinés aux essais doivent indiquer le mode de montage et la direction des vibrations. Le dispositif destiné aux essais doit être monté sur l'excitateur de vibrations au moyen du dispositif de montage, et sa sortie électrique doit être reliée à une charge extérieure. Avant les essais de génération d'énergie proprement dits, une appréciation préliminaire du banc d'essai doit être effectuée de la façon décrite en 6.2 et 6.3.

6.2 Appréciation des conditions de vibrations

Il convient de vérifier les points suivants avant de procéder à l'essai.

- a) Afin d'éviter toute distorsion des formes d'onde, la force sinusoïdale maximale $F_{\max}$ de l'excitateur de vibrations doit être supérieure à la force d'entraînement exigée, c'est-à-dire

$$F_{\max} > S M a_{\max}$$

où S , M , et $a_{\max}$ sont le facteur de sécurité, la masse totale du DUT et du dispositif de fixation, et l'accélération zéro à crête maximale présente durant l'essai. Le rapport de sécurité est le rapport de la force sinusoïdale maximale de l'excitateur de vibrations à la force sinusoïdale maximale estimée, calculé à partir de M et de $a_{\max}$. La valeur recommandée pour le rapport de sécurité est supérieure à 2.

- b) Le bruit de fond de l'accélération de vibration doit être mesuré lorsqu'aucune tension d'entrée n'est appliquée à l'excitateur de vibrations et que tous les équipements sont en marche.

6.3 Appréciation du bruit électronique

Avant l'essai, il convient d'effectuer les mesures préliminaires suivantes pour évaluer le bruit électrique.

- a) Le bruit électrique présent dans la tension de sortie du DUT doit être mesuré lorsqu'aucune tension d'entrée n'est appliquée à l'excitateur de vibrations et que tous les équipements sont en marche.
- b) L'effet du champ magnétique rayonné produit par l'excitateur de vibrations doit être mesuré. Si le champ magnétique rayonné est difficile à mesurer, la tension de sortie du DUT doit être mesurée lorsque l'excitateur de vibrations fonctionne sans que le DUT ne soit fixé sur le dispositif de montage.

7 Méthodes d'essai

7.1 Charge extérieure

La charge extérieure doit être une résistance pure de valeur connue. En outre, la capacité parasite de la charge extérieure et celle du circuit de lecture doivent être mesurées.

7.2 Durée des essais

La durée des essais doit être suffisamment longue pour permettre à la sortie électrique du DUT de se stabiliser par rapport à la fréquence et à l'accélération des vibrations.

7.3 Environnement d'essai

Il convient que la température et l'humidité relative soient constantes durant l'essai.

7.4 Conditions de mesure

Il convient d'effectuer trois types de mesure, en procédant de la façon suivante.

a) Réponse à fréquence unique

La forme d'onde de l'accélération de vibration doit être sinusoïdale. La fréquence de vibration doit correspondre à la fréquence assignée. L'accélération de vibration doit être constante durant un ensemble d'essais. Des mesures doivent être effectuées avec différentes charges extérieures pour permettre d'obtenir la charge optimale. Il est recommandé d'effectuer trois ensembles d'essais avec des accélérations différentes, étant donné que la réponse du DUT peut dépendre fortement de l'accélération efficace.

b) Réponse à un balayage de fréquence

La forme d'onde de l'accélération de vibration doit être sinusoïdale. Les fréquences inférieure et supérieure de la plage de balayage de fréquence doivent être au moins égales à la moitié et au double de la fréquence assignée. Les données concernant le balayage dans les deux sens (du bas vers le haut ou vice versa) doivent être enregistrées. La vitesse de balayage doit être suffisamment faible pour permettre de réduire au maximum toute influence sur les caractéristiques de la génération d'énergie. Dans le cas d'un balayage logarithmique, la valeur recommandée pour la vitesse de balayage est inférieure à 0,2 octave/min. Il est recommandé d'effectuer trois ensembles d'essais avec des accélérations différentes, étant donné que la réponse du DUT pourrait dépendre fortement de l'accélération efficace.

c) Réponse à des vibrations aléatoires

La forme d'onde de l'accélération de vibration doit être aléatoire, comme décrit dans la section 3.4. Les fréquences inférieure et supérieure des vibrations aléatoires doivent être au moins égales à la moitié et au double de la fréquence assignée. Il est recommandé d'effectuer trois ensembles d'essais avec des accélérations différentes, étant donné que la réponse du DUT pourrait dépendre fortement de l'accélération efficace. La période de temps des mesures servant à estimer des quantités moyennées dans le temps doit être suffisamment longue. La valeur recommandée de la période de temps est d'au moins 1 000 fois la période de temps d'un cycle d'oscillation de la fréquence assignée.

8 Modes opératoires de mesure

8.1 Généralités

Les trois ensembles de mesure suivants doivent être effectués avec l'équipement d'essai destiné aux dispositifs de captage d'énergie cinétique, tel qu'il est indiqué à la Figure 1. Les étapes suivantes sont les modes opératoires de mesure:

a) mettre en place une température ambiante et une humidité relative;

- b) fixer le DUT sur l'excitateur de vibrations au moyen du dispositif de montage;
- c) mettre en place une charge extérieure sur la sortie du DUT;
- d) appliquer une forme d'onde de tension d'entrée pour réaliser le mouvement de vibration exigé, comme décrit en 8.2 à 8.4, et entraîner le DUT en vibration;
- e) surveiller la fréquence et l'accélération de vibration du DUT;
- f) mesurer la tension de sortie du DUT et calculer la puissance de sortie;
- g) répéter c) à f) pour trois accélérations différentes s'il y a lieu.

8.2 Réponse à fréquence unique

Une forme d'onde de tension d'entrée est appliquée à l'excitateur de vibrations afin de réaliser une vibration sinusoïdale du DUT à la fréquence assignée, avec l'accélération prescrite. Des mesures doivent être effectuées avec différentes charges extérieures pour permettre d'obtenir la charge optimale.

8.3 Réponse à un balayage de fréquence

Une forme d'onde de tension d'entrée est appliquée à l'excitateur de vibrations de façon à réaliser des vibrations sinusoïdales du DUT ayant une accélération efficace constante, tandis que la fréquence de vibration varie de façon continue avec une certaine vitesse de balayage. La fréquence doit varier entre les fréquences minimale et maximale (balayage ascendant) et entre les fréquences maximale et minimale (balayage descendant).

8.4 Réponse à des vibrations aléatoires

Une forme d'onde de tension d'entrée est appliquée à l'excitateur de vibrations afin de réaliser une vibration aléatoire du DUT.

9 Rapport d'essai

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

- a) obligatoire:
 - 1) la référence au présent document;
 - 2) la forme, le poids et les dimensions du dispositif de captage d'énergie soumis à essai;
 - 3) les caractéristiques du circuit de lecture:
 - charge extérieure,
 - fréquence d'échantillonnage,
 - précision de mesure,
 - impédance d'entrée,
 - capacité parasite,
 - 4) les caractéristiques de l'excitateur de vibrations:
 - force sinusoïdale maximale,
 - amplitude maximale du mouvement du DUT,
 - plage de fréquences,
 - accélération de vibration propre,
 - 5) le type, la réponse en fréquence et la précision du capteur d'accélération;
 - 6) le mode de fixation du dispositif de captage d'énergie sur l'excitateur de vibrations;
 - 7) la direction des vibrations par rapport à la direction de la gravité;
 - 8) les conditions de mesure:
 - charge extérieure,

- fréquence assignée et accélération de vibration pour la réponse à la fréquence assignée,
- plage de balayage de fréquence, vitesse de balayage et accélération de vibration pour la réponse au balayage de fréquence de vibration,
- spectre de fréquence de l'accélération de vibration pour des vibrations aléatoires,
- durée de mesure,
- environnement de mesure (température et humidité relative),

9) les résultats des mesures:

- forme d'onde de la tension de sortie,
- tension de sortie crête à crête,
- puissance de sortie moyenne,

b) facultatif:

- 1) l'objet de l'essai,
- 2) la structure du dispositif soumis à essai,
- 3) le principe de génération d'énergie,
- 4) le rapport transverse de sensibilité de l'excitateur de vibrations,
- 5) l'impédance de sortie du dispositif soumis à essai.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63150-1:2019

Annexe A (informative)

Exemple de mesure à effectuer sur le dispositif de captage d'énergie cinétique

A.1 Généralités

L'Annexe A décrit trois exemples de mesure à effectuer sur des dispositifs de captage d'énergie cinétique correspondant à différents principes de génération d'énergie. L'Article A.2 concerne un dispositif de captage d'énergie à électret à ressort linéaire, qui présente une réponse à bande étroite. L'Article A.3 concerne un dispositif de captage d'énergie magnétostrictif inverse à ressort non linéaire présentant une hystérésis importante pour le balayage de fréquence ascendant/descendant. L'Article A.4 concerne un dispositif de captage d'énergie piézoélectrique qui présente une réponse à bande large.

A.2 Dispositif de captage d'énergie à électret à ressort linéaire

A.2.1 Forme, poids et dimensions du dispositif de captage d'énergie soumis à essai

La Figure A.1 est une photographie du dispositif de captage d'énergie à électret. Ses dimensions sont de 20 mm × 20 mm × 4 mm, et son poids de 3,7 g.



Figure A.1 – Photographie du dispositif de captage d'énergie à électret

A.2.2 Caractéristiques du circuit de lecture

La Figure A.2 montre le circuit de lecture et son diviseur de tension. La tension de sortie aux bornes de la charge est donnée par

$$V = V_M \frac{R}{R_M}$$

où V_M , R , R_M sont la tension mesurée, la charge totale et la résistance de la section de mesure. La charge totale R est donnée par $R = R_M + R_H$, et R_M est donnée par la résistance du diviseur de tension R_L et l'impédance d'entrée de l'unité de mesure R_i , c'est-à-dire

$$R_M = \frac{R_L R_i}{(R_L + R_i)}$$

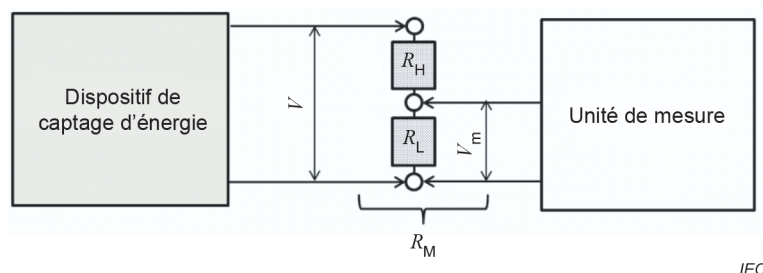


Figure A.2 – Circuit de lecture utilisant un diviseur de tension

Le présent essai utilise un convertisseur analogique-numérique (plage ± 5 V) pour la mesure de tension. L'impédance d'entrée R_I , la résolution et la fréquence d'échantillonnage sont respectivement >10 G Ω , de 16 bits et de 10 kHz. $R_L = 100$ k Ω , de sorte que R_M est pratiquement égale à R_L .

A.2.3 Caractéristiques de l'excitateur de vibrations

Différents excitateurs de vibrations ont été employés pour les vibrations sinusoïdales et les vibrations aléatoires, comme le résumant les Tableaux A.1 et A.2.

Tableau A.1 – Excitateur de vibrations utilisé pour les vibrations sinusoïdales

Force sinusoïdale maximale	300 N
Amplitude maximale	26 mm _{crête-crête}
Plage de fréquences	de 5 Hz à 3 kHz
Accélération de vibration propre	NA
Rapport transverse de sensibilité	NA
Accélération maximale	500 m/s ² sans charge

Tableau A.2 – Excitateur de vibrations utilisé pour des vibrations aléatoires

Force maximale	9,8 kN
Amplitude maximale	25 mm _{crête-crête}
Plage de fréquences	de 5 Hz à 3 kHz
Accélération de vibration propre	NA
Rapport transverse de sensibilité	NA
Accélération maximale	735 m/s ²

A.2.4 Type, réponse en fréquence et précision du capteur d'accélération

Différents capteurs d'accélération ont été employés pour les vibrations sinusoïdales et les vibrations aléatoires, comme le résumant les Tableaux A.3 et A.4.

Tableau A.3 – Capteur d'accélération utilisé pour les vibrations sinusoïdales

Type	Piézoélectrique
Plage de fréquences	f_c à 10 kHz ± 1 dB
Sensibilité	$3,0 \pm 10$ % pC/(m/s ²)
Capacité	1 500 pF
Accélération maximale	9 800 m/s ²

Tableau A.4 – Capteur d'accélération utilisé pour des vibrations aléatoires

Type	Piézoélectrique
Plage de fréquences	f_c à 7 kHz ± 1 dB
Sensibilité	$5,0 \pm 10$ % pC/(m/s ²)
Capacité	1 400 pF
Accélération maximale	10 000 m/s ²

A.2.5 Mode de fixation du dispositif de captage d'énergie sur l'excitateur de vibrations

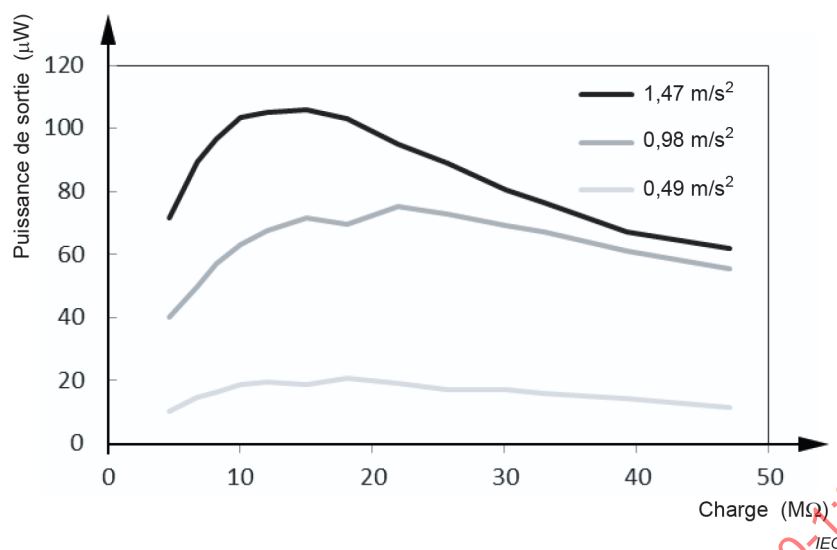
Le dispositif de captage d'énergie est fixé sur l'excitateur de vibrations par du ruban adhésif double face (tissu non tissé d'épaisseur 0,15 mm, adhésif acrylique).

A.2.6 Direction des vibrations par rapport à la direction de la gravité

La direction des vibrations correspond à la direction horizontale.

A.2.7 Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations sinusoïdales

Les valeurs choisies pour la fréquence assignée et la charge extérieure sont de 30,4 Hz et de 15,1 M Ω . L'accélération (zéro à crête) est de 0,49 m/s², de 0,98 m/s², de 1,47 m/s² et de 1,96 m/s². La température ambiante est de 25,2 °C. La Figure A.3 représente la puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale de 30,4 Hz en fonction de la charge extérieure à différentes accélérations, en montrant que l'impédance adaptée est comprise entre 15 M Ω et 20 M Ω . La Figure A.4 montre la forme d'onde de tension pour une excitation sinusoïdale de 30,4 Hz à différentes accélérations. L'amplitude et le nombre des crêtes de tension augmentent avec l'accélération pour atteindre 1,47 m/s², valeur pour laquelle l'amplitude prend sa valeur maximale. La tension de sortie efficace et la puissance de sortie moyenne sont résumées dans le Tableau A.5.



Les accélérations de zéro à crête sont de $0,49 \text{ m/s}^2$, de $0,98 \text{ m/s}^2$ et de $1,47 \text{ m/s}^2$.

Figure A.3 – Puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale de 30,4 Hz en fonction de la charge extérieure

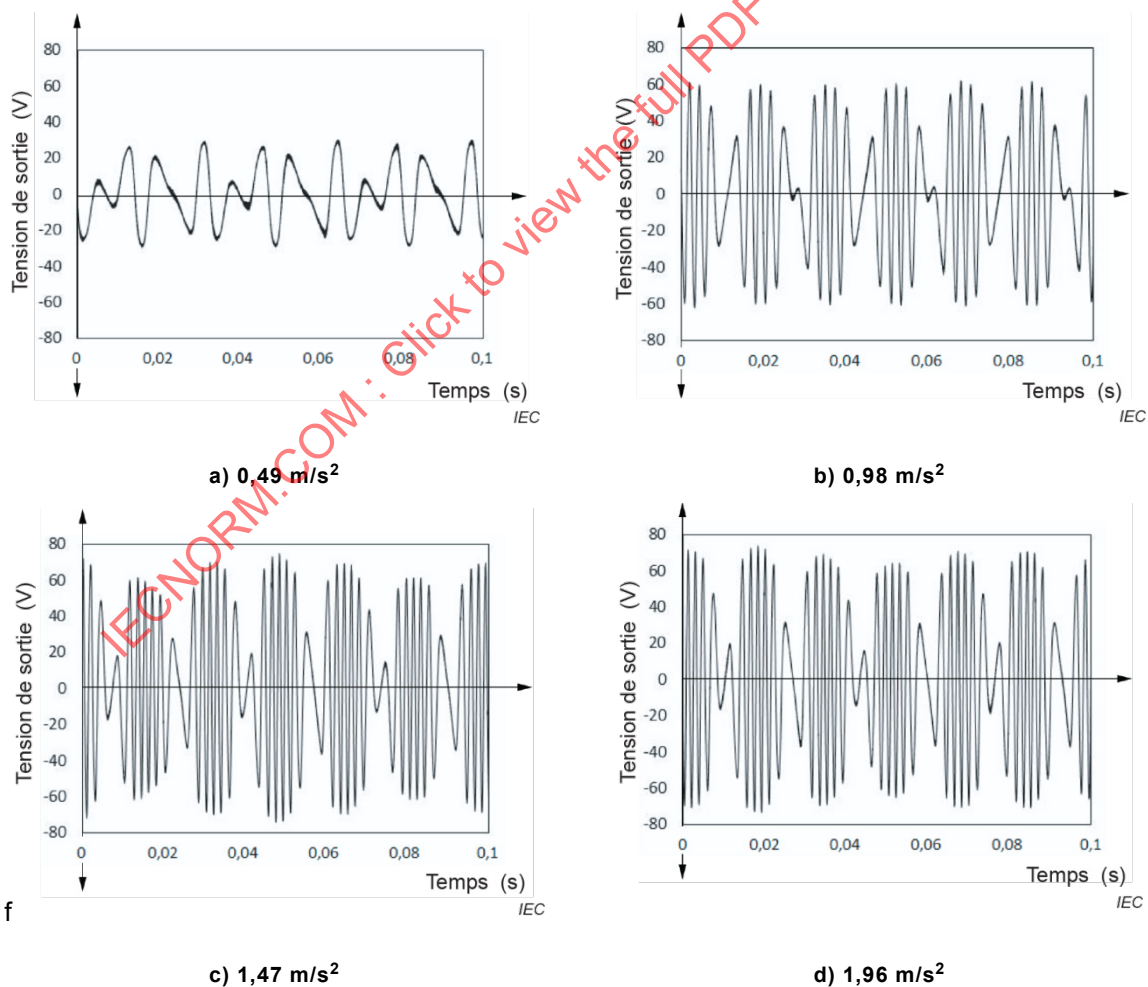


Figure A.4 – Formes d'onde de tension pour une excitation sinusoïdale de 30,4 Hz à différentes accélérations de zéro à crête

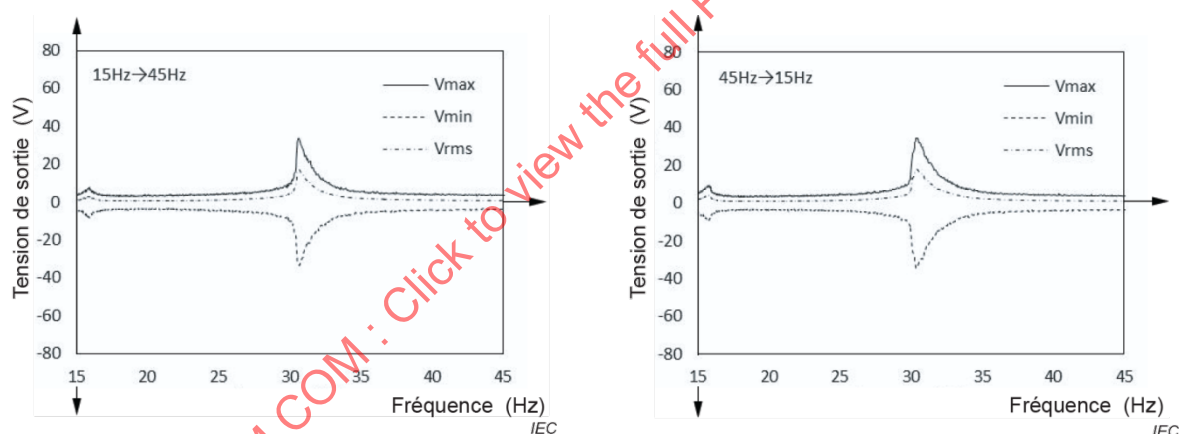
Tableau A.5 – Tension de sortie et puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale à la fréquence assignée

Accélération (0 à crête)	Tension de sortie efficace	Puissance de sortie moyenne
0,49 m/s ²	16,0 V	16,9 µW
0,98 m/s ²	33,1 V	72,7 µW
1,47 m/s ²	38,4 V	97,9 µW
1,96 m/s ²	38,2 V	96,5 µW

A.2.8 Conditions de mesure et résultats de mesure pour le balayage de fréquence

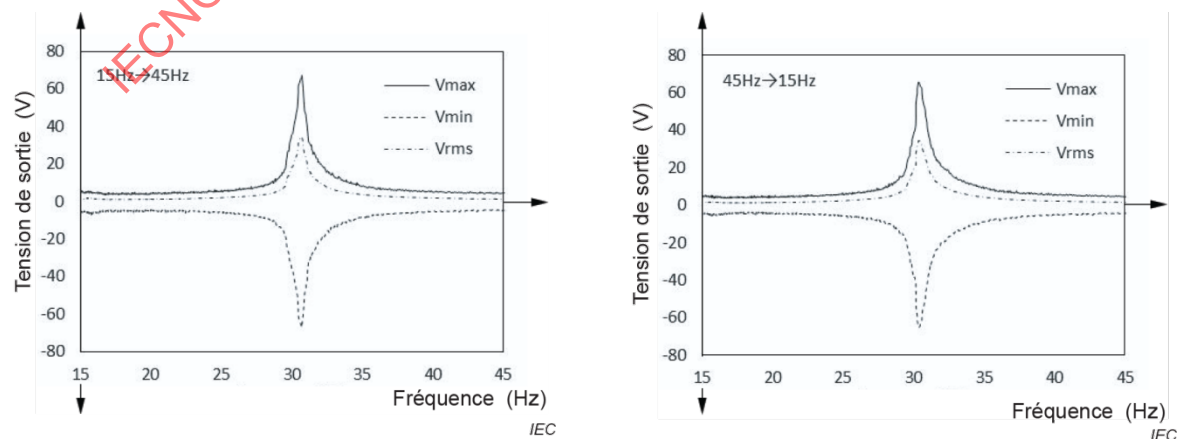
Les valeurs choisies pour la plage de balayage de fréquence, la vitesse de balayage et la charge extérieure sont de 15 Hz à 45 Hz, de 0,25 octave/min et de 15,1 MΩ. L'accélération de zéro à crête est de 0,49 m/s², de 0,98 m/s², de 1,47 m/s² et de 1,96 m/s². La température ambiante est de 25,2 °C.

La Figure A.5 montre la tension de sortie maximale $V_{\max}$, la tension de sortie minimale $V_{\min}$ et la tension de sortie efficace V_{rms} au cours du balayage de fréquence pour différentes accélérations. L'amplitude de la tension varie en fonction de la fréquence d'excitation. La tension de sortie crête à crête et la tension de sortie efficace pour le balayage ascendant/descendant et leur fréquence sont résumées dans le Tableau A.6.



a) 0,49 m/s² pour le balayage ascendant

b) 0,49 m/s² pour le balayage descendant



c) 0,98 m/s² pour le balayage ascendant

d) 0,98 m/s² pour le balayage descendant

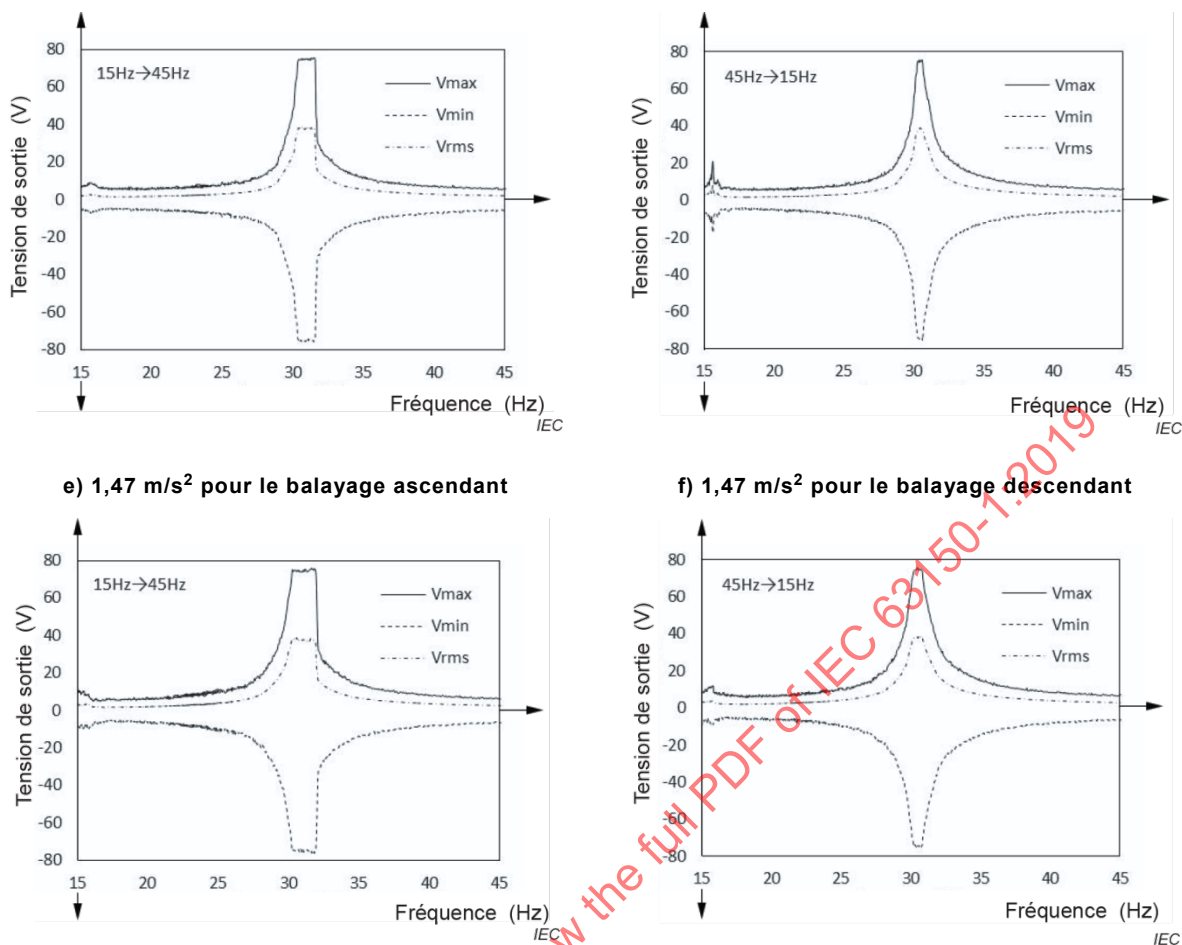


Figure A.5 – Tensions de sortie maximale, minimale, et efficace pour un balayage de fréquence à différentes accélérations de zéro à crête

Tableau A.6 – Tension de sortie pour une excitation sinusoïdale avec un balayage de fréquence

Accélération (0 à crête)	Balayage ascendant (de 15 Hz à 45 Hz)			Balayage descendant (de 45 Hz à 15 Hz)		
	Tension de sortie crête à crête	Tension de sortie efficace	Fréquence	Tension de sortie crête à crête	Tension de sortie efficace	Fréquence
0,49 m/s ²	67,2 V	17,3 V	30,6 Hz	68,9 V	17,8 V	30,4 Hz
0,98 m/s ²	134,3 V	34,5 V	30,7 Hz	130,8 V	34,3 V	30,4 Hz
1,47 m/s ²	151,7 V	38,8 V	30,5 Hz	151,0 V	38,7 V	30,4 Hz
1,96 m/s ²	152,1 V	38,9 V	30,5 Hz	151,3 V	38,4 V	30,4 Hz

La Figure A.6 représente la puissance de sortie pour un balayage de fréquence entre 15 Hz et 45 Hz. Des divergences sont observées entre le balayage ascendant (de 15 Hz à 45 Hz) et le balayage descendant (de 45 Hz à 15 Hz). Le Tableau A.7 résume la puissance de sortie maximale pour le balayage ascendant/descendant et sa fréquence.

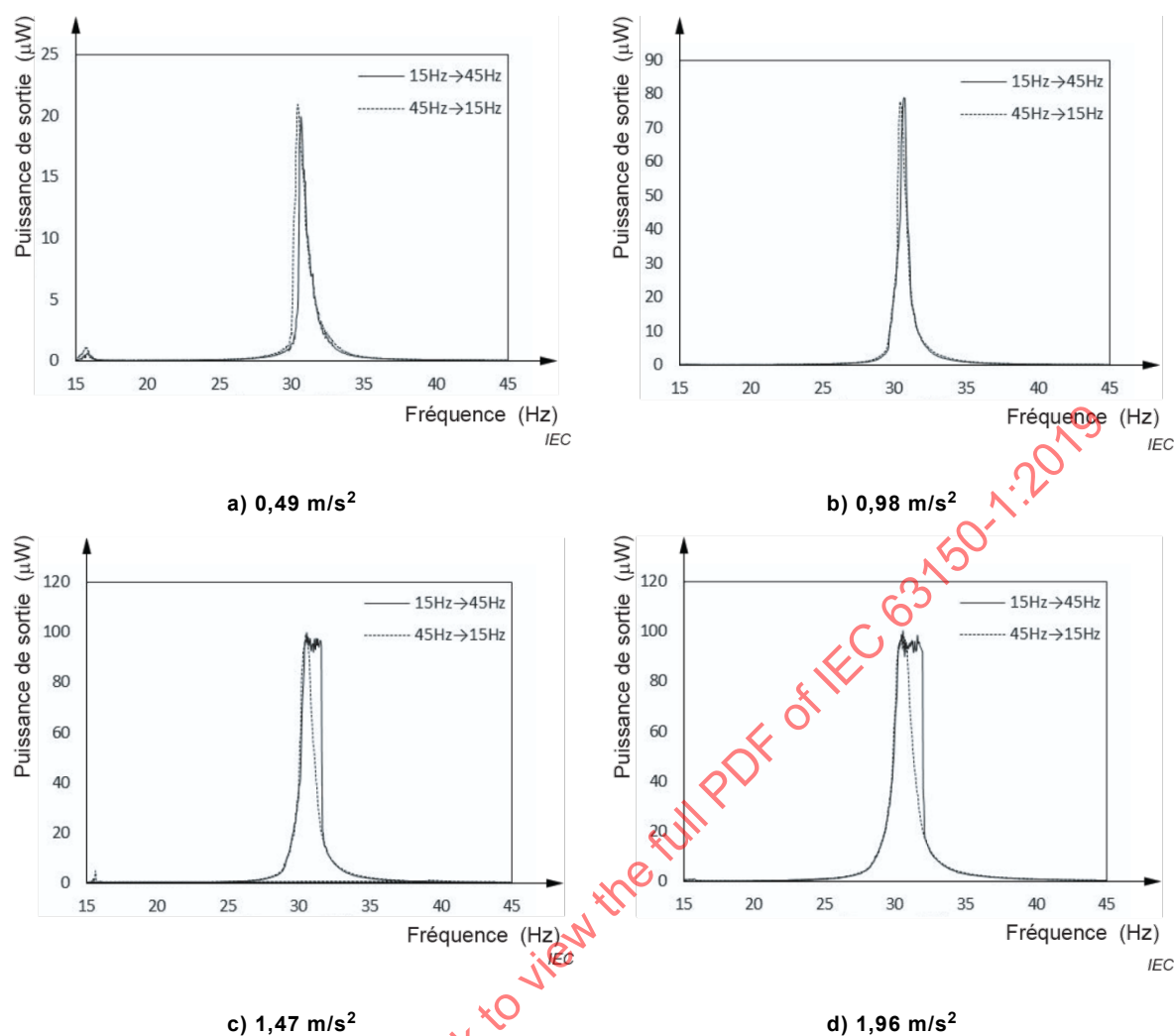


Figure A.6 – Puissance de sortie pour un balayage de fréquence entre 15 Hz et 45 Hz à différentes accélérations de zéro à crête

Tableau A.7 – Puissance de sortie maximale pour un balayage de fréquence entre 15 Hz et 45 Hz

Accélération	Balayage ascendant (15 Hz à 45 Hz)		Balayage descendant (15 Hz à 45 Hz)	
	Puissance maximale	Fréquence	Puissance maximale	Fréquence
0,49 m/s ²	19,9 μW	30,6 Hz	20,9 μW	30,4 Hz
0,98 m/s ²	79,0 μW	30,7 Hz	77,9 μW	30,4 Hz
1,47 m/s ²	99,9 μW	30,5 Hz	99,3 μW	30,4 Hz
1,96 m/s ²	100,3 μW	30,5 Hz	97,5 μW	30,4 Hz

A.2.9 Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations aléatoires

Les vibrations employées sont des vibrations aléatoires à bruit blanc comprises entre 5 Hz et 100 Hz. La valeur choisie pour la charge extérieure est de 15,1 Ω. La densité spectrale d'accélération est de 0,02 (m/s²)²/Hz, de 0,125 (m/s²)²/Hz et de 0,5 (m/s²)²/Hz. La température ambiante est de 23,3 °C. La durée de la mesure est de 100 s.

La Figure A.7 représente les formes d'onde de la tension de sortie pour des vibrations aléatoires. L'amplitude de la tension et le nombre d'ondes varient en fonction du temps, étant donné que la fréquence d'excitation est mélangée et modifiée de manière aléatoire. Les

tensions de sortie crête à crête/efficace et la puissance de sortie moyenne sur 100 s sont résumées dans le Tableau A.8.

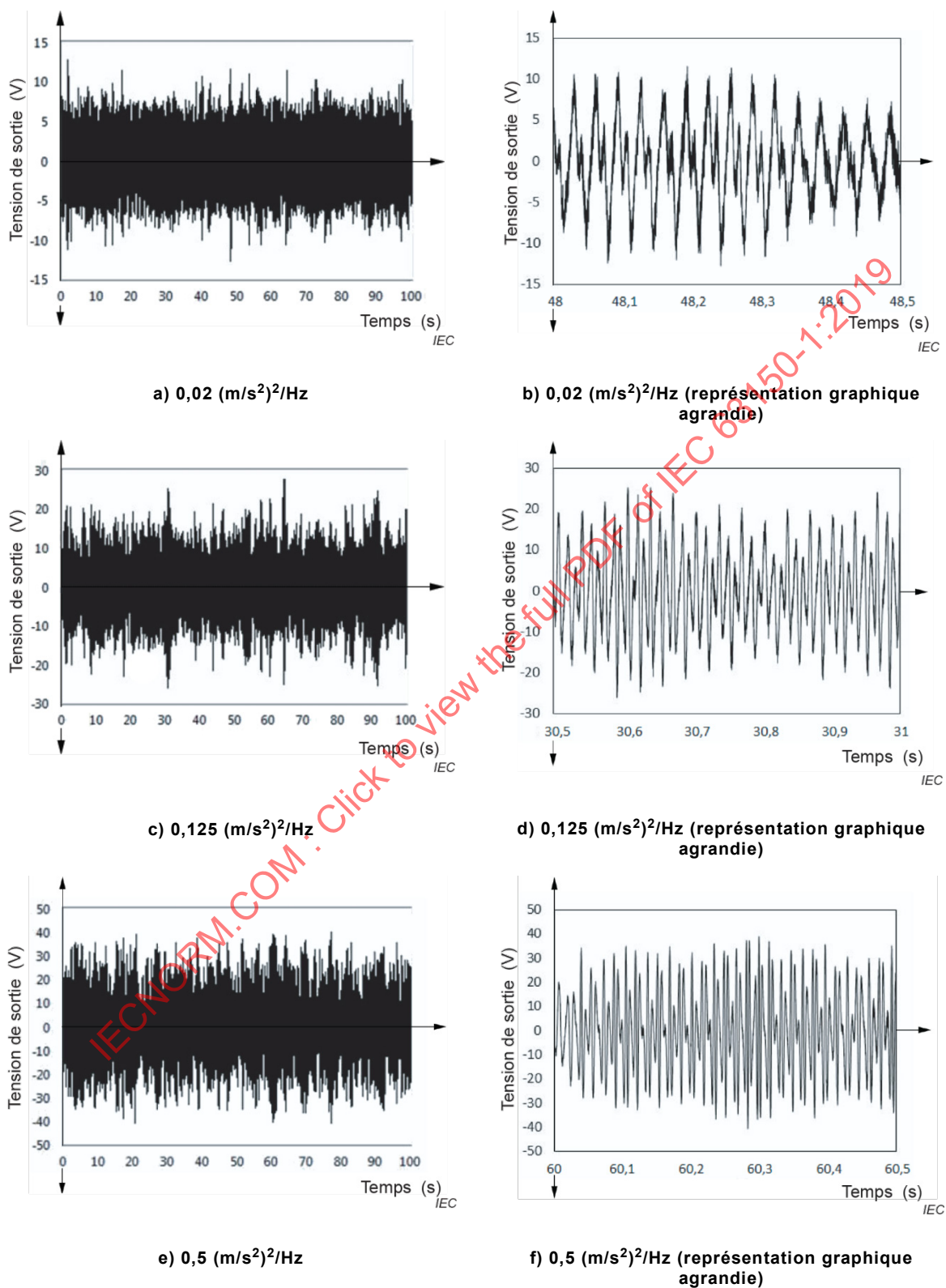


Figure A.7 – Formes d'onde de tension pour des vibrations aléatoires ayant différentes densités spectrales d'accélération

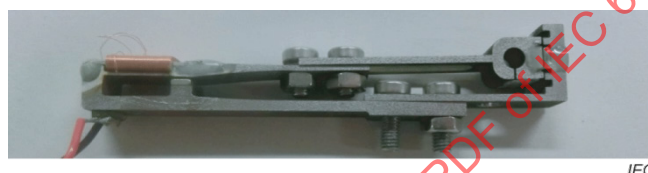
Tableau A.8 – Tension crête à crête, tension de sortie efficace et puissance de sortie moyenne pour des vibrations aléatoires

Densité spectrale d'accélération	Tension de sortie crête à crête	Tension de sortie efficace	Puissance de sortie moyenne
0,02 (m/s ²) ² /Hz	25,5 V	2,21 V	0,32 µW
0,125 (m/s ²) ² /Hz	53,8 V	5,07 V	1,70 µW
0,5 (m/s ²) ² /Hz	81,1 V	9,56 V	6,06 µW

A.3 Dispositif de captage d'énergie magnétostrictif inverse à ressort non linéaire

A.3.1 Forme, poids et dimensions du dispositif de captage d'énergie soumis à essai

La Figure A.8 est une photographie du dispositif de captage d'énergie magnétostrictif. Ses dimensions sont de 59 mm × 11 mm × 8 mm, et son poids de 14,2 g.

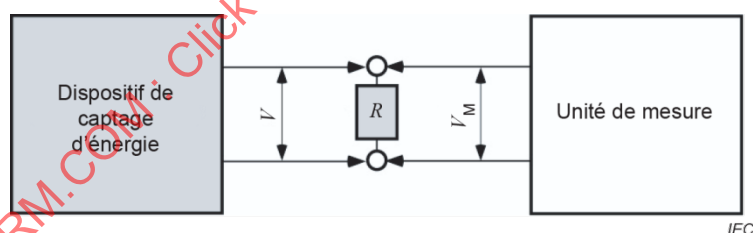


IEC

Figure A.8 – Photographie du dispositif de captage d'énergie magnétostrictif

A.3.2 Caractéristiques du circuit de lecture

La Figure A.9 représente le circuit de mesure. La tension de sortie aux bornes de la charge est donnée par $V = V_M$, où V_M , R sont la tension mesurée et la résistance de la charge.



IEC

Figure A.9 – Circuit de mesure

Le présent essai utilise un oscilloscope numérique pour la mesure de tension. L'impédance d'entrée, la précision de mesure et la fréquence d'échantillonnage sont respectivement de 10 MΩ, de 0,005 % et de 10 kHz. La résistance de la charge est de 100 Ω.

A.3.3 Caractéristiques de l'excitateur de vibrations

L'excitateur de vibrations a été employé pour les vibrations sinusoïdales, comme le résume le Tableau A.9.

Tableau A.9 – Excitateur de vibrations utilisé pour les vibrations sinusoïdales

Force sinusoïdale maximale	98 N _{0-crête}
Amplitude maximale	10 mm _{crête-crête}
Plage de fréquences	3 Hz à 13 kHz
Accélération de vibration propre	NA
Rapport transverse de sensibilité	NA
Accélération maximale	264,8 m/s ² sans charge

A.3.4 Type, réponse en fréquence et précision du capteur d'accélération

Le capteur d'accélération a été employé pour les vibrations sinusoïdales et aléatoires, comme le résume le Tableau A.10.

Tableau A.10 – Capteur d'accélération utilisé pour les vibrations sinusoïdales et aléatoires

Type	Piézoélectrique
Plage de fréquences	1 kHz à 7 kHz ± 1 dB
Sensibilité	6,42 pC/(m/s ²)
Capacité	720 pF
Accélération maximale	5 000 m/s ²

A.3.5 Mode de fixation du dispositif de captage d'énergie sur l'excitateur de vibrations

Le dispositif de captage d'énergie est fixé sur l'excitateur de vibrations par des boulons.

A.3.6 Direction des vibrations par rapport à la direction de la gravité

La direction des vibrations correspond à la direction de la gravité.

A.3.7 Conditions de mesure et résultats de mesure pour les vibrations sinusoïdales

Les valeurs choisies pour la fréquence assignée et la charge extérieure sont de 116 Hz et de 100 Ω . L'accélération (zéro à crête) est de 4,9 m/s² et 9,8 m/s². La température ambiante est de 24,0 °C.

La Figure A.10 représente la puissance de sortie pour une excitation sinusoïdale de 98 Hz en fonction de la charge extérieure à une accélération zéro à crête de 9,8 m/s², en montrant que l'impédance adaptée est de 100 Ω . La Figure A.11 montre la forme d'onde de tension pour une excitation sinusoïdale de 116 Hz à différentes accélérations. L'amplitude augmente en même temps que l'accélération. La tension de sortie efficace et la puissance de sortie moyenne sont résumées dans le Tableau A.11.