

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles –
Part 3: Shock driven piezoelectric energy harvesting for automotive vehicle
sensors**

**Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules
automobiles –
Partie 3: Récupération de l'énergie piézoélectrique produite par les chocs pour
les capteurs de véhicules automobiles**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2018 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions 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.

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.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions 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.

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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles –
Part 3: Shock driven piezoelectric energy harvesting for automotive vehicle
sensors**

**Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules
automobiles –
Partie 3: Récupération de l'énergie piézoélectrique produite par les chocs pour
les capteurs de véhicules automobiles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-5685-5

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 General terms	8
3.2 Piezoelectric transducer.....	9
3.3 Characteristic parameters	10
4 Essential ratings and characteristic parameters	11
4.1 Identification and type.....	11
4.2 Limiting values and operating conditions	11
4.3 Additional information	12
5 Test method	12
5.1 General.....	12
5.2 Electrical characteristics	13
5.2.1 Test procedure	13
5.2.2 Capacitance	14
5.2.3 Natural frequency	14
5.2.4 Damping ratio	15
5.2.5 Output voltage	15
5.2.6 Output current	16
5.2.7 Output power.....	16
5.2.8 Optimal load impedance	17
5.2.9 Maximum output power.....	17
5.3 Mechanical characteristics.....	18
5.3.1 Test procedure	18
5.3.2 Temperature range	19
5.3.3 Shock magnitude	20
5.3.4 Temperature and humidity testing.....	20
5.3.5 Mechanical reliability (shock) testing	20
Annex A (informative) Mechanical shock pulses	21
Annex B (informative) Electromechanical coupling	23
B.1 Compliance and coupling coefficient relation.....	23
B.2 Young's modulus and coupling coefficient relation	23
Bibliography.....	24
Figure 1 – Shock driven energy harvester using cantilever with piezoelectric film	8
Figure 2 – Conceptual diagram of shock driven piezoelectric energy harvester	9
Figure 3 – Equivalent circuit of shock driven piezoelectric energy harvester	10
Figure 4 – Measurement procedure of shock driven piezoelectric energy harvester	13
Figure 5 – Test setup for the electrical characteristics of shock driven piezoelectric energy harvester.....	14
Figure 6 – Output waveform and its frequency component of a shock driven piezoelectric energy harvester	15
Figure 7 – Output voltages of shock excited piezoelectric energy harvester at various external loads	16

Figure 8 – Output currents of shock driven piezoelectric energy harvester at various output voltages	16
Figure 9 – Output power of shock driven piezoelectric energy harvester at various external loads	17
Figure 10 – Output power and voltage of shock driven piezoelectric energy harvester at various shock amplitudes	18
Figure 11 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of shock driven piezoelectric energy harvester	19
Figure A.1 – Comparison of general shock patterns and shock pattern from automobile	21
Figure A.2 – Impact (or shock) recorded by an electronic impact recorder	22
Table 1 – Specification parameters for shock driven piezoelectric energy harvesters	11

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR INTERFACE FOR AUTOMOTIVE VEHICLES –

Part 3: Shock driven piezoelectric energy harvesting for automotive vehicle sensors

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 62969-3 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
47/2461/FDIS	47/2480/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 62969 series, published under the general title *Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles*, 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 62969-3:2018

INTRODUCTION

The IEC 62969 series is composed of four parts as follow:

- IEC 62969-1, *Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles – Part 1: General requirements of power interface for automotive vehicle sensors*
- IEC 62969-2, *Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles – Part 2: Efficiency evaluation methods of wireless power transmission using resonance for automotive vehicle sensors*
- IEC 62969-3, *Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles – Part 3: Shock driven piezoelectric energy harvesting for automotive vehicle sensors*
- IEC 62969-4¹, *Semiconductor devices – Semiconductor interface for automotive vehicles – Part 4: Evaluation method of data interface for automotive vehicle sensors*

The IEC 62969 series covers power and data interfaces for sensors in automotive vehicles. The first part covers general requirements of test conditions such as temperature, humidity, vibration, etc for automotive sensor power interface. This part also includes various electrical performances of power interface such as voltage drop from power source to automotive sensors, noises, voltage level, etc. The second part covers “Efficiency evaluation methods of wireless power transmission using resonance for automotive vehicle sensors”. The third part covers “Shock driven piezoelectric energy harvesting for automotive vehicle sensors”. The fourth part covers “Evaluation methods of data interface for automotive vehicle sensors”.

¹ To be published

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR INTERFACE FOR AUTOMOTIVE VEHICLES –

Part 3: Shock driven piezoelectric energy harvesting for automotive vehicle sensors

1 Scope

This part of IEC 62969 describes terms, definitions, symbols, configurations, and test methods that can be used to evaluate and determine the performance characteristics of mechanical shock driven piezoelectric energy harvesting devices for automotive vehicle sensor applications.

This document is also applicable to energy harvesting devices for motorbikes, automobiles, buses, trucks and their respective engineering subsystems applications without any limitations of device technology and size.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60749-5, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 5: Steady-state temperature humidity bias life test*

IEC 60749-10, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 10: Mechanical shock*

IEC 60749-12, *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*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62830-1 and the following 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 General terms

3.1.1 shock

sudden acceleration or deceleration resulting in transient physical excitation; characterized by the peak acceleration, the duration, and the shape of the shock pulse (rectangular, half-sine, sawtooth, etc.)

Note 1 to entry: The fundamental frequency of the automotive vehicle shock is varied from 0,5 Hz to 20 Hz.

Note 2 to entry: Mechanical shock pulses are sinusoidal, rectangular, half-sine, sawtooth, etc. waves. Detailed explanation of mechanical shock pulses with an analysis of shock amplitude and duration/frequency of automobile and conventional shaker have been included in Annex A (informative).

3.1.2

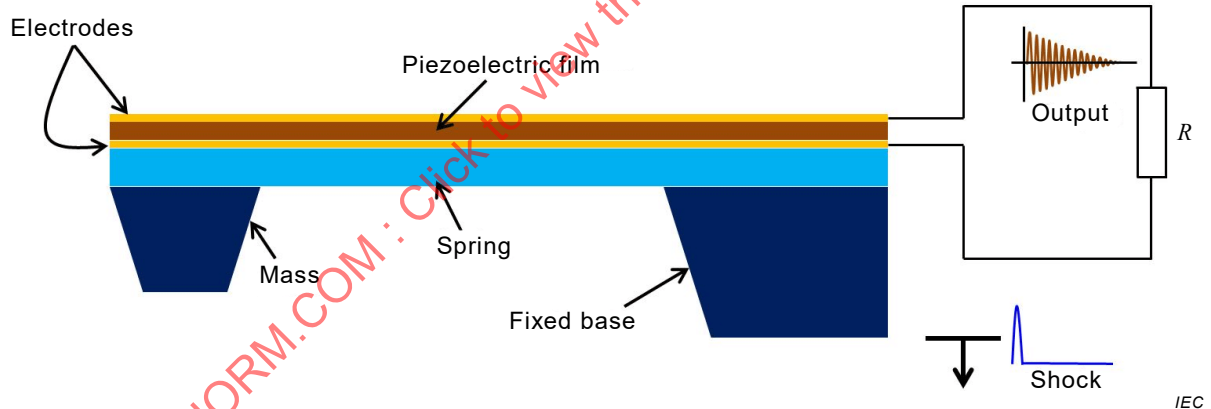
shock driven energy harvester

generator that responds to the applied mechanical shock, transforms shock into vibration (mechanical oscillation), and converts the vibration to the electricity

Note 1 to entry: The generated power depends on the characteristics of applied shock and, mechanical and electrical characteristics of the generator itself.

Note 2 to entry: Shock energy harvester to convert shock to electricity by using piezoelectric transducers is comprised of inertial mass, spring, and piezoelectric transducer as shown in Figure 1. The piezoelectric transducer contains two electrodes and a piezoelectric film. Vibration is induced in response to the applied shock that introduces a reciprocating motion to the mass. The spring which suspends the mass is bended and the bending of spring introduces tensile and compression of piezoelectric film. The top and bottom electrodes of piezoelectric film harvest generated charges from the piezoelectric effect.

Note 3 to entry: Shock driven energy harvester is represented as shown in Figure 2. It is configured by mass, spring, damping, and piezoelectric transducer. The piezoelectric transducer is generally viewed as damping.



Key

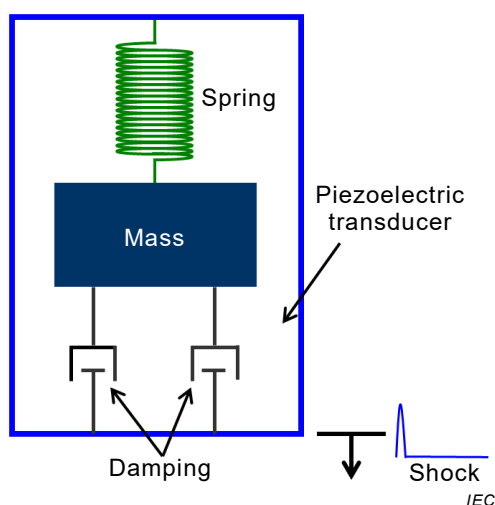
Configuration of energy harvester

Mass	Inertial mass to induce mechanical oscillation responding to applied shock
Spring	To couple the induced vibration to the mass by suspending it
Piezoelectric film	Body layer of piezoelectric transducer for energy harvester

Components to operate a energy harvester

Shock	Transient physical excitation supplied to vibrate the mass of energy harvester
R	External load

Figure 1 – Shock driven energy harvester using cantilever with piezoelectric film

**Key****Configuration of energy harvester**

Damping Reduction of the acceleration of oscillation of mass

Components to operate an energy harvester

Piezoelectric transducer Power generator via piezoelectric effect

Figure 2 – Conceptual diagram of shock driven piezoelectric energy harvester

3.2 Piezoelectric transducer**3.2.1 piezoelectric effect**

phenomenon in which a mechanical deformation produces an electric polarization of piezoelectric material, and conversely an electric polarization produces a mechanical deformation

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-12-86, modified]

3.2.2 piezoelectric charge constant

d_{ij}
polarization generated per unit of mechanical stress applied to a piezoelectric material

Note 1 to entry: The first subscript to d indicates the direction of polarization generated in the material when the electric field, is zero or, alternatively, is the direction of the applied field strength. The second subscript is the direction of the applied stress or the induced strain, respectively. d_{33} : induced strain in direction Z-axis per unit electric field applied in direction Z-axis. d_{31} : induced strain in direction X-axis per unit electric field applied in direction Z-axis.

3.2.3 electromechanical coupling coefficient

k
value to describe the conversion rate of electrical energy to mechanical form or vice versa

Note 1 to entry: The coefficient is a combination of elastic, dielectric and piezoelectric constants which appears naturally in the expression of piezoelectric transducer as following

$$k = \frac{d}{(s\varepsilon)^{1/2}} \quad (1)$$

where

d is the piezoelectric charge constant

s is elastic compliance (inverse of Young's modulus) at constant electric field

ϵ is permittivity of the piezoelectric material at constant stress

Note 2 to entry: The relationship of electromechanical coupling coefficient with compliance and Young's modulus have been elaborated in Annex B (informative).

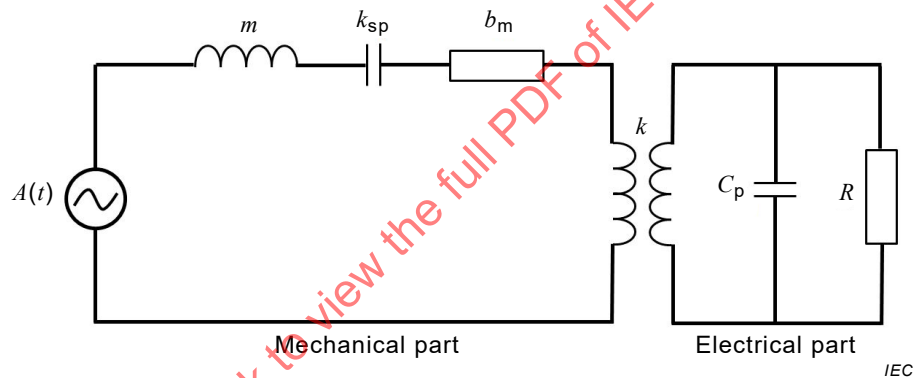
3.3 Characteristic parameters

3.3.1

equivalent circuit

arrangement of ideal circuit elements that has circuit parameters, electrically equivalent to those of a shock driven piezoelectric energy harvester

Note 1 to entry: Shock driven piezoelectric energy harvester can be divided into mechanical and electrical parts as shown in Figure 3. The mechanical part consists of series elements m , k_{sp} , b_m , and transformer (coupling element between mechanical and electrical parts)- where m , k_{sp} , and b_m represent the effective mass, spring constant of spring, damping, respectively; and piezoelectric effect to convert mechanically induced strain to electrical charge density with coupling coefficient k . The electrical part is comprised of parallel connected C_p , R , and transformer- where C_p and R represent the capacitance between two electrodes of piezoelectric transducer and external load.



Key

Mechanical part

m	effective mass
k_{sp}	spring constant
b_m	damping coefficient
$A(t)$	induced vibration in response to the applied shock

Electrical part

C_p	capacitance of piezoelectric transducer
R	external load

Figure 3 – Equivalent circuit of shock driven piezoelectric energy harvester

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-05-35, modified]

3.3.2

natural frequency

ω_n

free vibration frequency of the mass-spring-damping system of the energy harvester to generate largest output power

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{sp}}{m}} \quad (2)$$

3.3.3**damped natural frequency** ω_d

frequency of free vibration of the mass-spring-damping system of the energy harvester incorporating damping in response to the shock excitation

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (3)$$

where ζ is the damping ratio determined by logarithmic decrement of output voltage waveform, normalized from electrical and mechanical damping.

3.3.4**shock excitation amplitude**

acceleration amplitude of the random applied shock to the energy harvester for maximum duration as measured on the enclosure over which the energy harvester will not sustain permanent damage though not necessarily functioning within the specified tolerances

4 Essential ratings and characteristic parameters**4.1 Identification and type**

The shock driven energy harvester shall be clearly and durably marked in the order given below:

- a) year and week (or month) of manufacture;
- b) manufacture's name or trade mark;
- c) terminal identification (optional);
- d) serial number;
- e) factory identification code (optional).

4.2 Limiting values and operating conditions

The characteristic parameters should be listed as shown in Table 1. The manufacturer shall clearly announce the operating conditions and their limitation for energy harvesting. Limiting value is the maximum induced vibration to ensure the operation of vibration energy harvester for power generation without any damage.

Table 1 – Specification parameters for shock driven piezoelectric energy harvesters

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Measuring conditions
<i>Insert name of characteristic parameters</i>					

4.3 Additional information

Some additional information should be given such as equivalent circuits (natural frequency, internal impedance, output voltage and power, etc.), handling precautions, physical information (outline dimension, terminals, accessories, installation guide, etc.), package information, PCB interface and mounting information, and other information, etc.

5 Test method

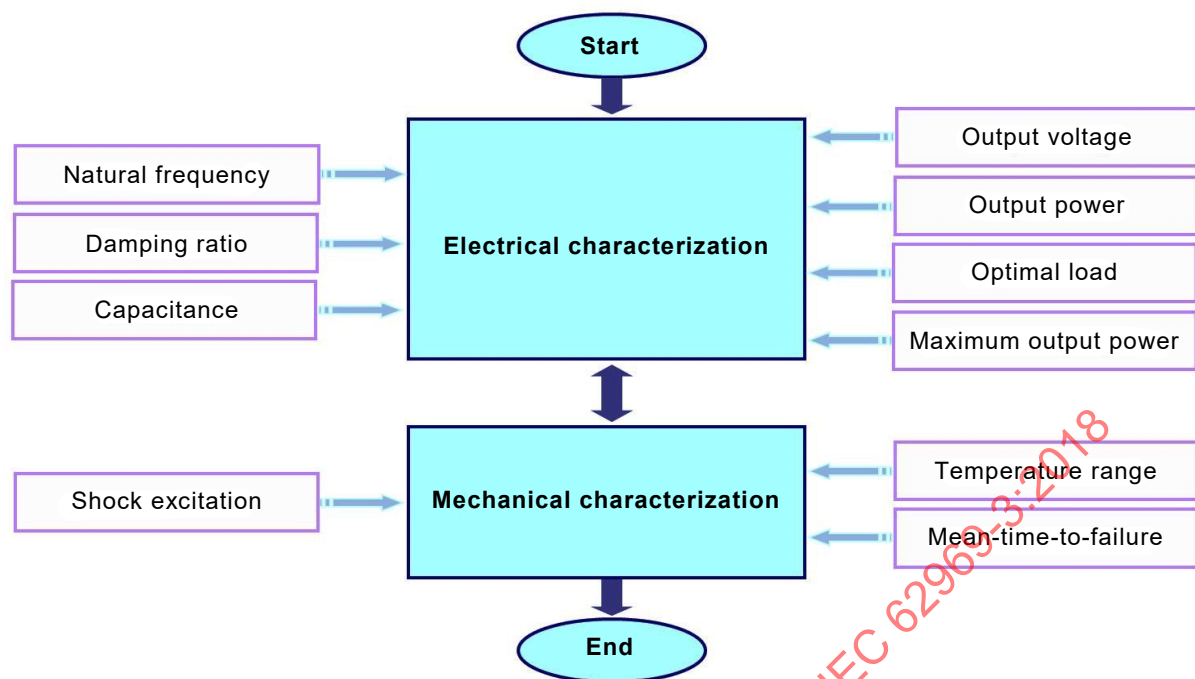
5.1 General

Basically, general test procedures for shock driven energy harvester are performed as shown in Figure 4. After the energy harvester is being mounted on a test fixture, it is measured by using voltage, current, and LCR meters. Since the input impedances of these meters are usually 10 M Ω , miniaturized or micro sized energy harvesters should not be characterized accurately due to their large internal impedance. For measuring and characterizing these devices accurately, the ultra-high-impedance meters should be used.

Before connecting the energy harvester to the test fixture, meter, cable, and vibration exciter shall be calibrated. After calibration, connect test cable with mounted energy harvester test fixture on shaker table (shock exciter). The reading of output voltage or current on display of the meters is carefully taken with applied shock which is measured by the accelerometer.

NOTE Shock driven energy harvester can be measured as shown in Figure 4. After mounting the energy harvester onto a shaker table, electrical characteristic are measured by using a meter or equivalent equipment. If the measurements are satisfactory, reliability test for temperature range with thermal cycling and mechanical failure with various shock and vibration, is performed for commercially use.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018



IEC

Key

Procedure	Reference subclause	Procedure	Reference subclause
Start		Optimal load	5.2.8
Electrical characterization		Maximum output power	5.2.9
Natural frequency	3.3.2 and 5.2.3	Mechanical characterization	
Damping ratio	3.3.3 and 5.2.4	Temperature range	5.3.2
Capacitance	5.2.2	Shock excitation	3.3.4 and 5.3.1
Output voltage	5.2.5	Mean-time-to-failure	5.3.3
Output power	5.2.7		

Figure 4 – Measurement procedure of shock driven piezoelectric energy harvester

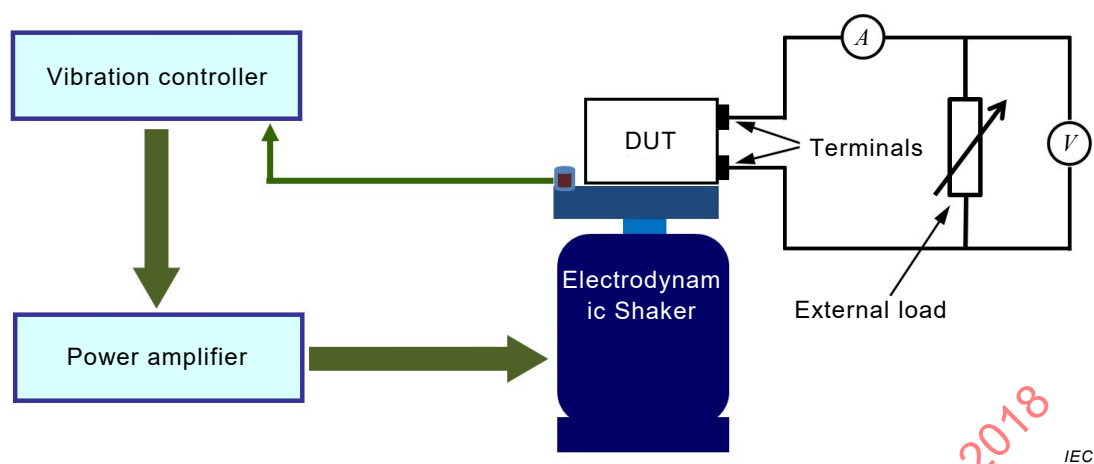
5.2 Electrical characteristics

5.2.1 Test procedure

Figure 5 shows a test setup of the electrical characteristic of a shock driven piezoelectric energy harvester. To measure the electrical characteristics of a shock driven piezoelectric energy harvester, the device shall be attached on a shaker table as shown in Figure 5. When a particular type of shock with specified acceleration amplitude is applied to the device, an output voltage or current across an external load is measured.

The following test procedure is performed:

- A specified shock is induced to the energy harvester.
- The voltage or current across the external load which is connected to the terminals of the energy harvester is measured using a voltage or current meter.
- The voltage and current are measured with various acceleration amplitude of shock by adjusting the amplifying ratio of power amplifier.
- The maximum voltage and current are derived from various external loads to find the optimal load.



Key

Component and meters to monitor

DUT: device under test	A piece of energy harvester
Voltage meter (<i>V</i>)	To detect a voltage across the external load
Ampere meter (<i>A</i>)	To detect a current through the external load
External load (<i>R</i>)	

Equipment and supplies

Vibration controller	To produce and supply an initial drive signal (specified type of shock) to the power amplifier
Power amplifier	To supply a specified level of electrical power to the shock exciter
Electrodynam ic Shaker	To supply a specified level and type of mechanical shock to a piece of DUT

Figure 5 – Test setup for the electrical characteristics of shock driven piezoelectric energy harvester

5.2.2 Capacitance

It is a capacitance measured between two terminals of energy harvesting device. A calibration of a LCR meter shall be made in order to eliminate systematic errors occurred in the LCR meter, cable, and connectors. When the device is connected to the LCR meter, its capacitance will be displayed.

5.2.3 Natural frequency

It is the frequency, normally expressed in Hz, of the energy harvester at which its output voltage/power is obtained. Figure 6 shows the typical output voltage waveform of a sock excited energy harvester and its frequency component obtained by Fast Fourier Transform (FFT).

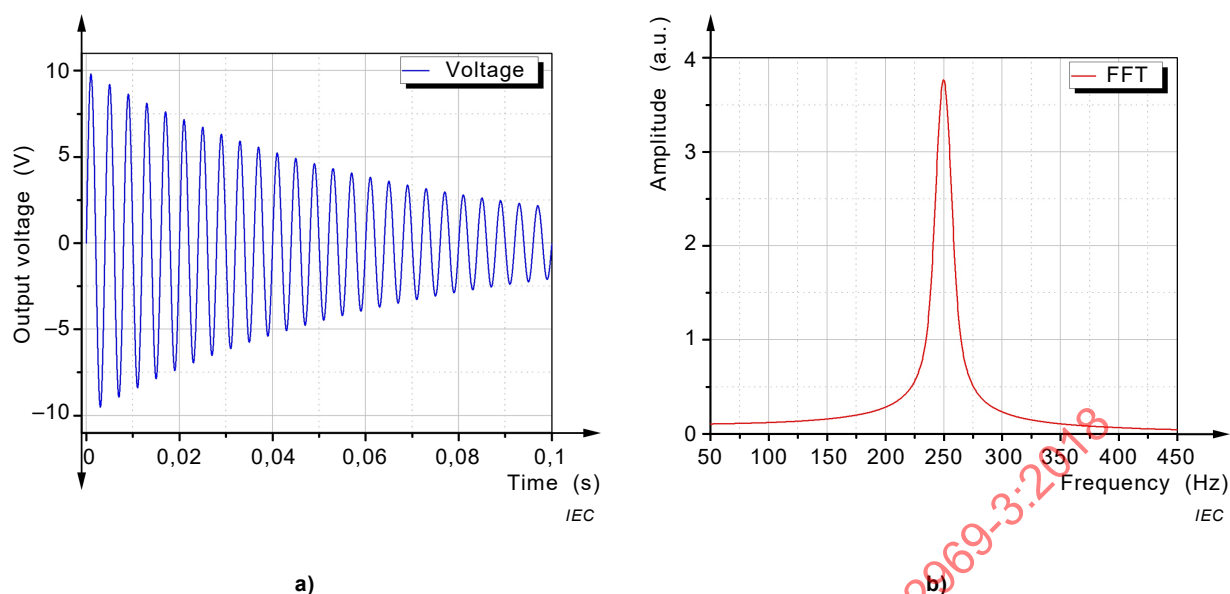


Figure 6 – Output waveform and its frequency component of a shock driven piezoelectric energy harvester

5.2.4 Damping ratio

It is a measure of how the output decays with time after a single shock impulse is applied to the energy harvester. It is a dimensionless quantity that is calculated from the logarithmic decrement of the output voltage response by using the following formula:

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{a_1}{a_2} \right) \quad (4)$$

where a_1 and a_2 are the two consecutive peak amplitudes of the voltage waveform.

5.2.5 Output voltage

It is the peak-peak/rms voltage for specified duration measured across the terminals of energy harvester with a specified external load in response to applied shock. Figure 7 shows the graphical shape of measured output voltage versus external resistive load connected to the terminal of energy harvester. The open circuit voltage is the measured peak-peak/rms voltage for specified duration when there is no external load connected to the terminal of energy harvester at a specific shock excitation.

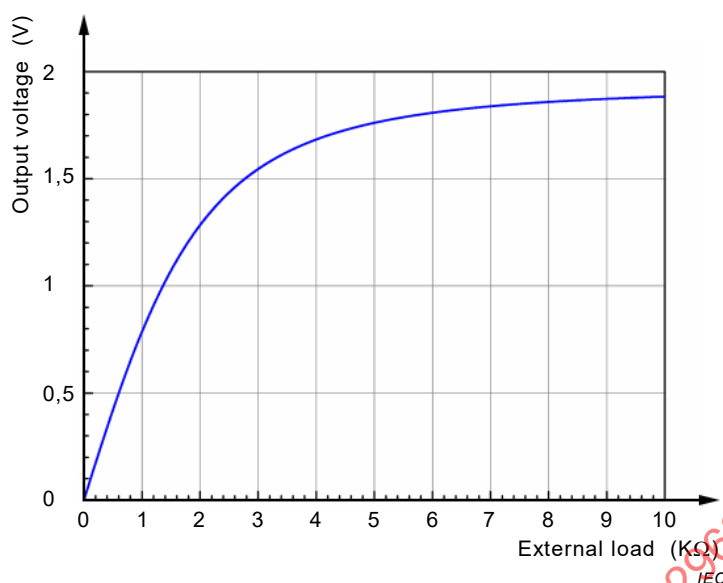


Figure 7 – Output voltages of shock excited piezoelectric energy harvester at various external loads

5.2.6 Output current

It is the current measured through the specified external load connected to the terminal of vibration energy harvester at the specified shock excitation. Figure 8 shows the graphical shape of measured current versus output voltage of energy harvester. The short circuit current from the terminal of the energy harvester is the measured current when the voltage across the energy harvester is zero.

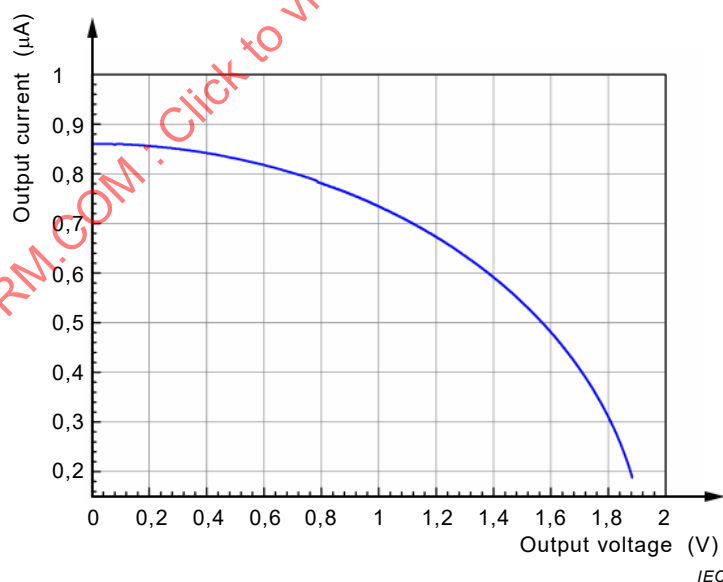


Figure 8 – Output currents of shock driven piezoelectric energy harvester at various output voltages

5.2.7 Output power

Output power (peak/average) is calculated from the measured output voltage and current for specified duration of energy harvester with external load.

$$P = IV [\text{W}] \quad (5)$$

Figure 9 shows the graphical shape of measured output power (peak/average) versus external load of energy harvester.

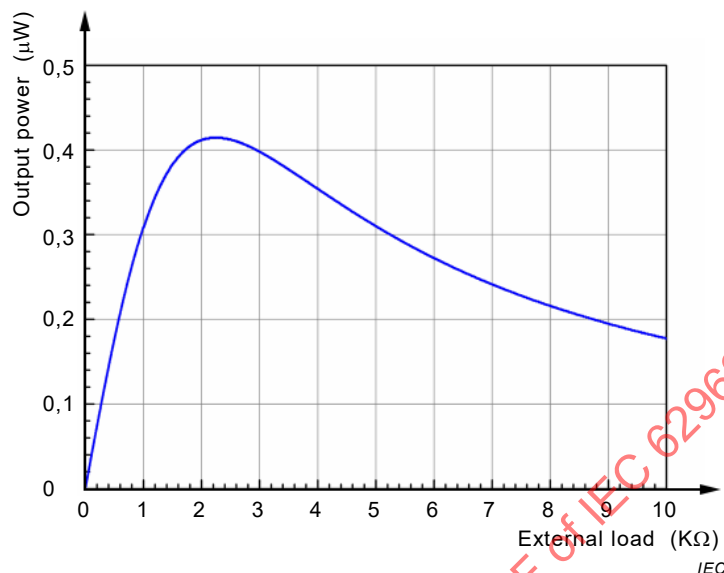


Figure 9 – Output power of shock driven piezoelectric energy harvester at various external loads

5.2.8 Optimal load impedance

Optimal load impedance is the specified value of the external load transferred the largest electrical energy from energy harvester.

5.2.9 Maximum output power

It is a maximum value of output power (peak/average) measured from energy harvester at a specified applied shock amplitude for specified duration. The applied shock amplitude is defined in 5.3.3. Figure 10 shows the graphical shape of measured output power (peak/average) and voltage (peak-peak/rms) for specified duration versus various applied shock amplitudes.

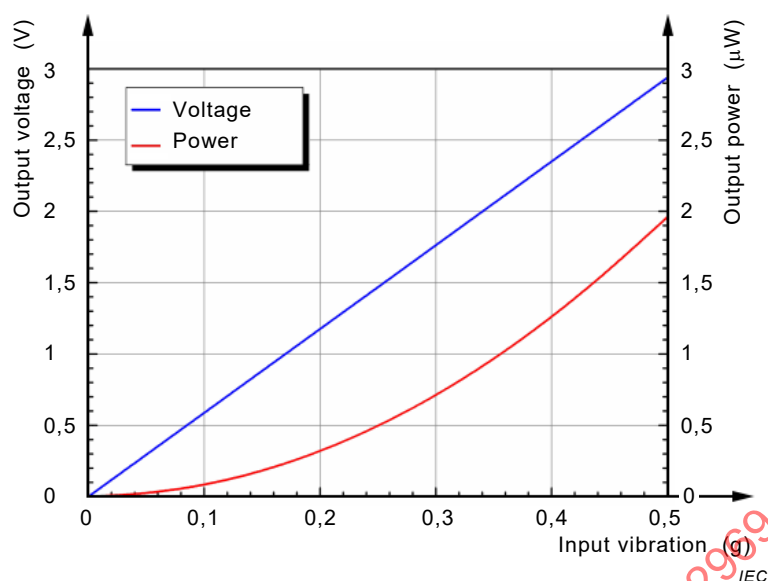


Figure 10 – Output power and voltage of shock driven piezoelectric energy harvester at various shock amplitudes

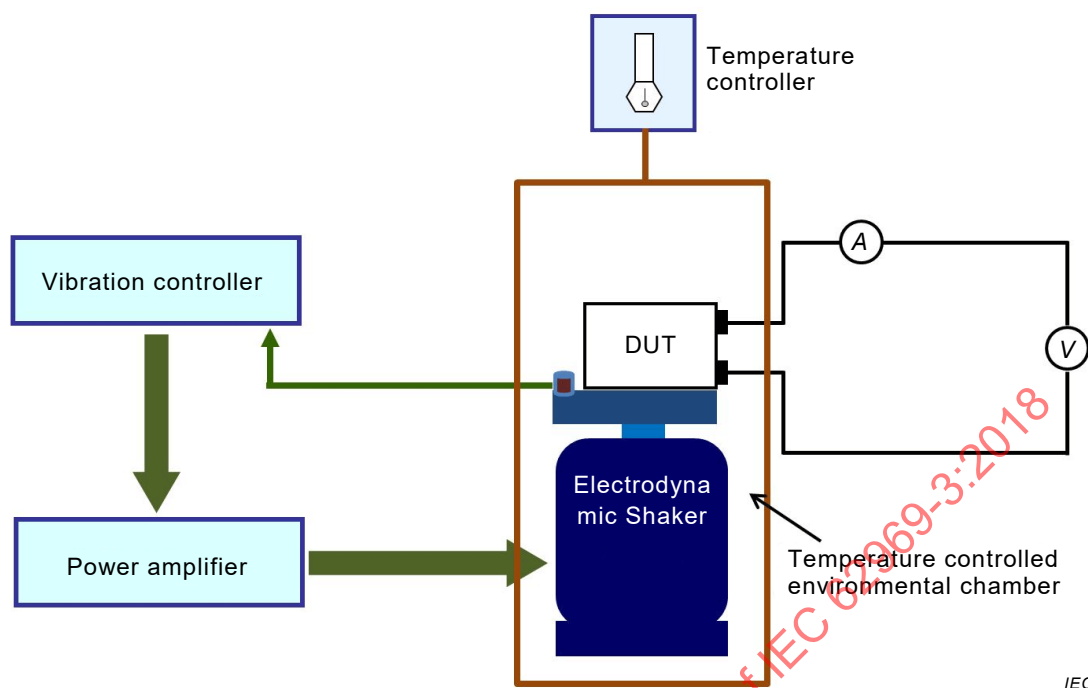
5.3 Mechanical characteristics

5.3.1 Test procedure

Figure 11 shows a test setup of the reliability of a shock driven piezoelectric energy harvester. The harvesting device shall be repeatedly operated until the failure of device. When a specific type of shock excitation is applied to the device, output voltage or current is measured through an external load connected to the device.

To test the reliability, the following test procedure is performed:

- A shock impulse is induced to the energy harvester.
- The output voltage or current of energy harvester is measured by the meter.
- The test is continuously performed for a few months.



Key

Component and meters to monitor

DUT: device under test	A piece of energy harvester
Voltage meter (<i>V</i>)	To detect a voltage across the external load
Ampere meter (<i>A</i>)	To detect a current through the external load

Equipment and supplies

Vibration controller	To produce and supply an initial drive signal (specified type of shock) to the power amplifier
Power amplifier	To supply a specified level of electrical power to the shock exciter
Electrodynamic shaker	To supply a specified level and type of mechanical shock to a piece of DUT
Temperature controlled environment chamber	To keep a specified temperature value of a piece of DUT

Figure 11 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of shock driven piezoelectric energy harvester

5.3.2 Temperature range

The objective of this test is to evaluate its reliability by low/high temperature cycling test. The temperature range should be specified from the applications. First, the test is performed at the temperature cycling test chamber, and second, by placing the finished energy harvester in an oven. The performance characteristics are monitored by a meter.

5.3.3 Shock magnitude

The objective of this test is to evaluate its reliability by high input acceleration for specified duration. The operating range should be specified from the application. First, the test is performed as repetitive test of shock excitation with various acceleration and duration. Second, by placing the finished energy harvester on the shock exciter. The performance characteristics are monitored by a meter.

IEC 60749-12 applies.

5.3.4 Temperature and humidity testing

IEC 60749-5 applies.

5.3.5 Mechanical reliability (shock) testing

IEC 60749-10 applies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018

Annex A (informative)

Mechanical shock pulses

Mechanical shock pulses are sinusoidal, rectangular, half-sine, sawtooth, etc. waves. The damage potential of a shock pulse depends upon its peak amplitude, duration and waveform. The peak amplitude is measured in units of “g” where $g = 9,8\text{m/s}^2$. The waveform is described in three ways, namely frequency, duration, and velocity change (ΔV). Frequency describes the time as compared to cycles per second and the unit of measurement is Hertz (Hz). Duration describes the time as compared to seconds and the usual unit of measure is milliseconds (ms). Velocity change (ΔV) is the area under the acceleration time graph of the shock. It directly relates to the energy contained in the shock. The higher the velocity changes the higher the energy content.

Subfigure A.1 a) shows a shock wave or an impact wave in time domain. The wave is a sine curve with acceleration in g ($g = 9,8\text{m/s}^2$) along the y-axis and time in ms along the x-axis. The magnitude of shock pulse varies depending on the origin of shock in automobile and one general shock pattern is shown in Subfigure A.1 b). This kind of shock can be reproducible using conventional electrodynamic shaker.

An analysis of shock amplitude and duration/frequency of conventional shaker is shown in Figure A.2. The following conditions when simultaneously reach damage a transformer of electrodynamic shaker: (a) the peak acceleration exceeds the critical acceleration, and (b) the duration of the peak half sine curve exceeds the critical shock duration, or the frequency is lower than the critical frequency.

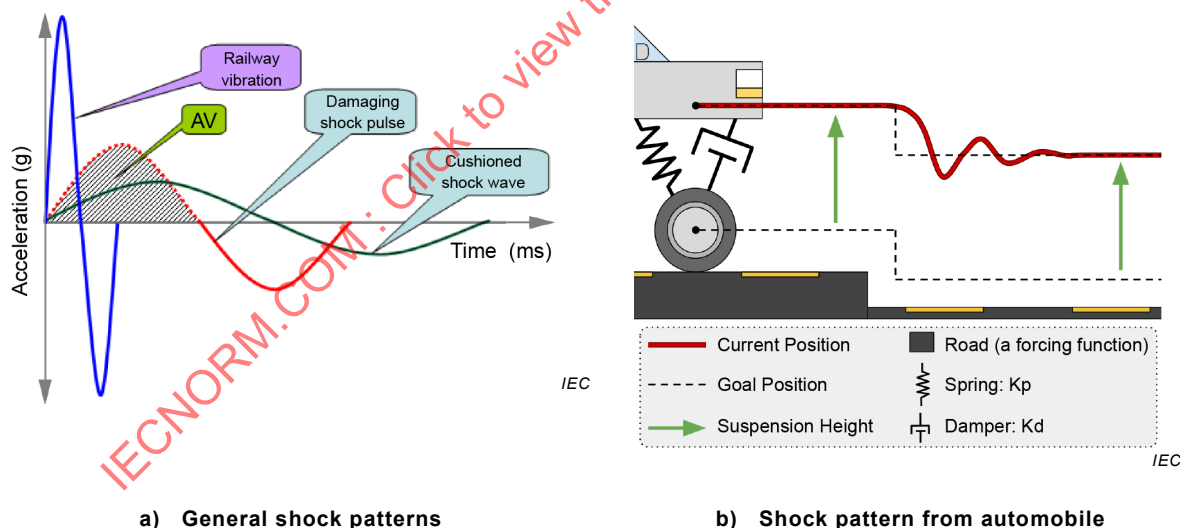


Figure A.1 – Comparison of general shock patterns and shock pattern from automobile

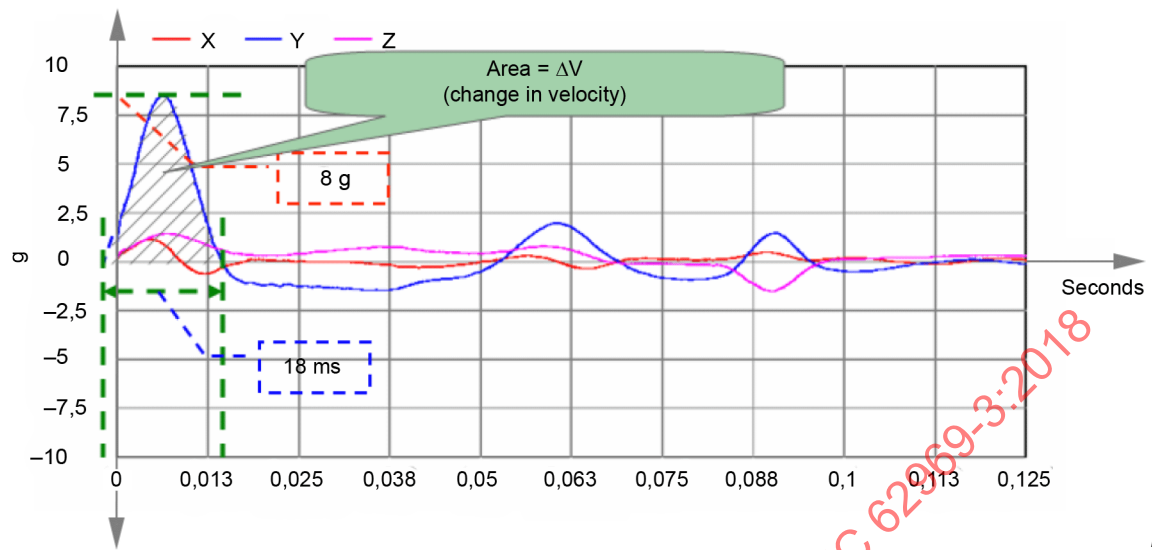


Figure A.2 – Impact (or shock) recorded by an electronic impact recorder

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018

Annex B (informative)

Electromechanical coupling

B.1 Compliance and coupling coefficient relation

The relation between elastic compliance and piezoelectric coupling coefficient is the following:

$$s^D = s^E (1 - k^2)$$

where

s^D is the compliance at constant dielectric field D (open circuit);

s^E is the compliance at constant field strength E (short circuit);

k is the piezoelectric coupling coefficient.

B.2 Young's modulus and coupling coefficient relation

The relation between Young's modulus and the piezoelectric coupling coefficient is the following:

$$\frac{1}{Y^D} = \frac{(1 - k^2)}{Y^E} \quad \text{or} \quad Y^D = \frac{Y^E}{(1 - k^2)}$$

where

Y^D is the Young's modulus at open circuit;

Y^E is the Young's modulus at short circuit.

The piezoelectric material has two different Young's moduli, depending on the electrical boundary conditions (short circuit or open circuit). Since k is always less than 1.0, the open circuit modulus Y^D is always greater than the short circuit modulus Y^E . The physical reason is as follows.

Consider an open circuit piezoelectric material that is subjected to a compressive force F . Part of the energy of compression goes toward deforming the piezoelectric material and part goes toward establishing an electric field (i.e., a charge separation due to the piezoelectric material's capacitance). Now if the piezoelectric material is short circuited then the electric field disappears. The energy of the electric field also disappears but, because this is a conservative system, that energy must be converted into another form of energy – in this case, additional deformation of the piezoelectric material. Thus, the piezoelectric material compresses more at short circuit than at open circuit. So, the Young's modulus at short circuit (Y^E) must be lower than the Young's modulus at open circuit (Y^D).

Bibliography

IEC 62047-5:2011, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 5: RF MEMS switches*

IEC 62047-7:2011, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 7: MEMS BAW filter and duplexer for radio frequency control and selection*

S. Roundy, P.K. Wright, and J. Rabaey, *Energy Scavenging for Wireless Sensor Networks with Special Focus on Vibrations*, Kluwer Academic Press, 2003

Z. Hadas, V. Vetiska, V. Singule, O. Andrs, J. Kovar, and J. Vetiska, *Energy Harvesting from Mechanical Shocks Using A Sensitive Vibration Energy Harvester*, Int. J. Adv. Robot. Sy., vol. 9, 225: 2012

Z. Wang, R. Elfrink, M. Renaud, R. J. M. Vullers, and R. van Schaijk, *Study of Piezoelectric Vibration Harvester Based on Clamped-Guided Beams under Shock Excitation*, PowerMEMS 2012, Atlanta, GA, USA, Dec. 2-5, 2012, pp. 46-49

Transformer Shipping Handbook, www.logicladder.com, volume 1, Issue 1, 26 March 2012

Piezoelectric transducer appendices,
http://www.ultrasonic-resonators.org/design/transducers/transducer_appendices.html#understanding_piezoelectric_constants, preliminary, Volume 6a, 05 May 2016

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	31
3.1 Termes généraux	32
3.2 Transducteur piézoélectrique	33
3.3 Paramètres de caractéristique	34
4 Valeurs limites et paramètres de caractéristique essentiels	35
4.1 Identification et type.....	35
4.2 Valeurs limites et conditions de fonctionnement.....	35
4.3 Informations supplémentaires	36
5 Méthode d'essai	36
5.1 Généralités	36
5.2 Caractéristiques électriques.....	37
5.2.1 Procédure d'essai.....	37
5.2.2 Capacité	38
5.2.3 Fréquence propre	38
5.2.4 Taux d'amortissement.....	39
5.2.5 Tension de sortie	39
5.2.6 Courant de sortie	40
5.2.7 Puissance de sortie	40
5.2.8 Impédance de charge optimale	41
5.2.9 Puissance de sortie maximale	41
5.3 Caractéristiques mécaniques	42
5.3.1 Procédure d'essai.....	42
5.3.2 Plage de températures.....	43
5.3.3 Amplitude du choc	44
5.3.4 Essais de température et d'humidité	44
5.3.5 Essai de fiabilité mécanique (choc).....	44
Annexe A (informative) Impulsions de choc mécanique	45
Annexe B (informative) Couplage électromécanique.....	47
B.1 Relation entre la complaisance et le coefficient de couplage.....	47
B.2 Relation entre le module de Young et le coefficient de couplage.....	47
Bibliographie.....	48
Figure 1 – Récupérateur d'énergie produite par les chocs utilisant un cantilever avec un film piézoélectrique	32
Figure 2 – Modèle conceptuel d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs	33
Figure 3 – Circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs	34
Figure 4 – Procédure de mesure d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs	37
Figure 5 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs	38

Figure 6 – Forme d'onde de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs et sa composante de fréquence.....	39
Figure 7 – Tensions de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs avec différentes charges extérieures.....	40
Figure 8 – Courants de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs avec différentes tensions de sortie.....	40
Figure 9 – Puissance de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs avec différentes charges extérieures.....	41
Figure 10 – Puissance et tension de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs avec différentes amplitudes de choc.....	42
Figure 11 – Schéma fonctionnel d'un montage d'essai pour l'appréciation de la fiabilité d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs.....	43
Figure A.1 – Comparaison des modèles de choc généraux et du modèle de choc avec une automobile.....	45
Figure A.2 – Impact (ou choc) enregistré par un enregistreur d'impact électronique.....	46
Tableau 1 – Paramètres de spécification pour les récupérateurs d'énergie piézoélectrique produite par les chocs.....	35

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62969-3:2018

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – INTERFACE À SEMICONDUCTEURS POUR LES VÉHICULES AUTOMOBILES –

Partie 3: Récupération de l'énergie piézoélectrique produite par les chocs pour les capteurs de véhicules automobiles

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 62969-3 a été établie par le comité d'études 47: Dispositifs à semiconducteurs.

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

FDIS	Rapport de vote
47/2461/FDIS	47/2480/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.

Cette document a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62969, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules automobiles*, peut être consultée 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 62969-3:2018

INTRODUCTION

La série IEC 62969 est composée des quatre parties suivantes:

- IEC 62969-1, *Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules automobiles – Partie 1: Exigences générales de l'interface d'alimentation destinée aux capteurs de véhicules automobiles*
- IEC 62969-2, *Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules automobiles – Partie 2: Méthodes d'évaluation du rendement de la transmission d'énergie sans fil par résonance pour les capteurs de véhicules automobiles*
- IEC 62969-3, *Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules automobiles – Partie 3: Récupération de l'énergie piézoélectrique produite par les chocs pour les capteurs de véhicules automobiles*
- IEC 62969-4¹, *Dispositifs à semiconducteurs – Interface à semiconducteurs pour les véhicules automobiles – Partie 4: Evaluation methods of data interface for automotive vehicle sensors* (disponible en anglais seulement)

La série IEC 62969 couvre les interfaces d'alimentation et de données destinées aux capteurs présents dans les véhicules automobiles. La première partie couvre les exigences générales des conditions d'essai telles que la température, l'humidité, les vibrations, etc., pour l'interface d'alimentation des capteurs automobiles. Cette partie traite également de différentes performances électriques de l'interface d'alimentation telles que la chute de tension entre la source d'alimentation et les capteurs automobiles, les bruits, le niveau de tension, etc. La deuxième partie couvre les «méthodes d'évaluation du rendement de la transmission d'énergie sans fil par résonance pour les capteurs de véhicules automobiles». La troisième partie couvre la «récupération de l'énergie piézoélectrique produite par les chocs pour les capteurs de véhicules automobiles». La quatrième partie couvre «les méthodes d'évaluation de l'interface de données destinée aux capteurs de véhicules automobiles».

¹ A paraître

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – INTERFACE À SEMICONDUCTEURS POUR LES VÉHICULES AUTOMOBILES –

Partie 3: Récupération de l'énergie piézoélectrique produite par les chocs pour les capteurs de véhicules automobiles

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62969 décrit les termes, définitions, symboles, configurations et les méthodes d'essai pouvant être utilisés pour apprécier et déterminer les caractéristiques de performance des dispositifs de récupération de l'énergie piézoélectrique produite par des chocs mécaniques pour des applications mettant en œuvre des capteurs de véhicules automobiles.

Le présent document est également applicable aux dispositifs de récupération d'énergie pour les motos, les automobiles, les bus, les camions ainsi que leurs applications d'ingénierie aux sous-systèmes, sans restriction concernant la technologie et la taille des dispositifs.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60749-5, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 5: Steady-state temperature humidity bias life test* (disponible en anglais seulement)

IEC 60749-10, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 10: Chocs mécaniques*

IEC 60749-12, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 12: Vibrations, fréquences variables*

IEC 62830-1, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et production d'énergie – Partie 1: Récupération d'énergie piézoélectrique basée sur des vibrations*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 62830-1 ainsi que les 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 Termes généraux

3.1.1

choc

accélération ou décélération soudaine engendrant une excitation physique transitoire; elle est caractérisée par l'accélération de crête, la durée et la forme de l'impulsion de choc (rectangulaire, semi-sinusoïdale, en dents de scie, etc.)

Note 1 à l'article: La fréquence fondamentale du choc d'un véhicule automobile varie de 0,5 Hz à 20 Hz.

Note 2 à l'article: Les impulsions de choc mécanique sont des ondes sinusoïdales, rectangulaires, semi-sinusoïdales, en dents de scie, etc. L'explication détaillée des impulsions de choc mécanique avec une analyse de l'amplitude de choc et de la durée/fréquence d'un excitateur automobile et conventionnel a été incluse dans l'Annexe A (informative).

3.1.2

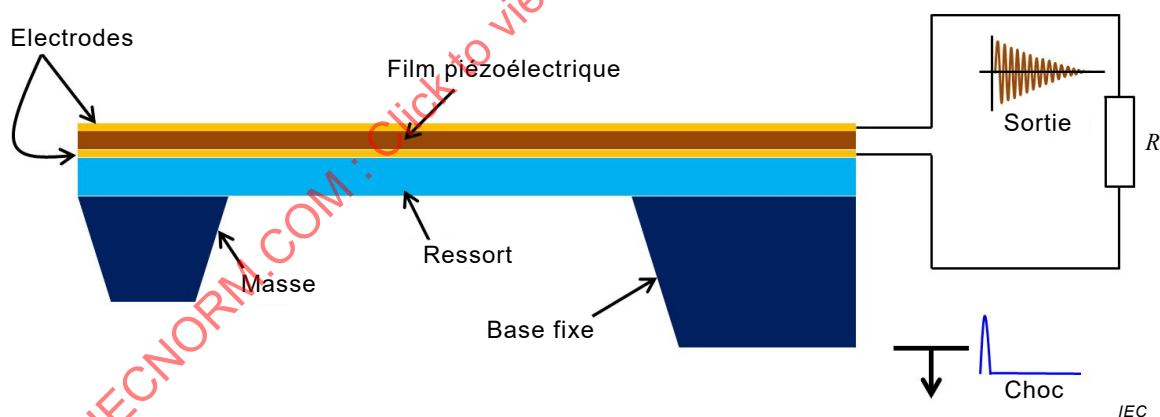
récupérateur d'énergie produite par les chocs

générateur qui répond à un choc mécanique appliqué, transforme ce choc en une vibration (oscillation mécanique), puis convertit la vibration en électricité

Note 1 à l'article: La puissance générée dépend des caractéristiques du choc appliqué ainsi que des caractéristiques mécaniques et électriques du générateur lui-même.

Note 2 à l'article: Le récupérateur d'énergie produite par les chocs, conçu pour convertir un choc en électricité à l'aide de transducteurs piézoélectriques, est composé d'une masse inerte, d'un ressort et d'un transducteur piézoélectrique comme représenté à la Figure 1. Le transducteur piézoélectrique contient deux électrodes et un film piézoélectrique. La vibration est induite par le choc appliqué qui produit un mouvement alternatif de la masse. Le ressort suspendant la masse est plié, cette torsion engendre une traction et une compression du film piézoélectrique. Les électrodes supérieure et inférieure du film piézoélectrique récupèrent les charges générées par l'effet piézoélectrique.

Note 3 à l'article: Un récupérateur d'énergie produite par les chocs est représenté à la Figure 2. Il est formé d'une masse, d'un ressort, d'un dispositif d'amortissement et du transducteur piézoélectrique. Le transducteur piézoélectrique est généralement considéré comme un dispositif d'amortissement.



Légende

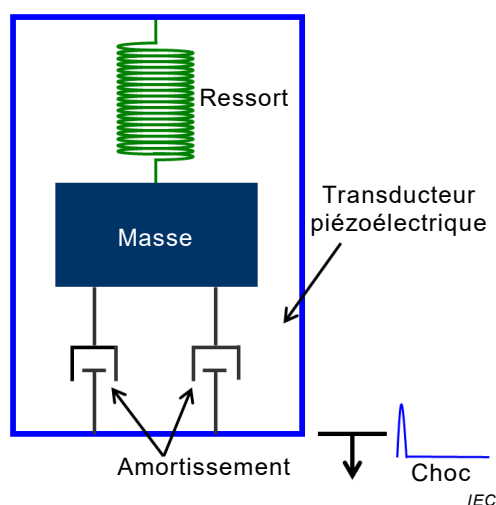
Structure du récupérateur d'énergie

Masse	Masse inerte destinée à induire une oscillation mécanique en réponse à un choc appliqué
Ressort	Destiné à coupler la vibration induite à la masse en suspendant celle-ci
Film piézoélectrique	Couche de corps du transducteur piézoélectrique pour le récupérateur d'énergie

Composants pour exploiter un récupérateur d'énergie

Choc	Excitation physique transitoire appliquée pour faire vibrer la masse du récupérateur d'énergie
R	Charge extérieure

Figure 1 – Récupérateur d'énergie produite par les chocs utilisant un cantilever avec un film piézoélectrique



Légende

Structure du récupérateur d'énergie

Amortissement Réduction de l'accélération de l'oscillation de la masse

Composants pour exploiter un récupérateur d'énergie

Transducteur piézoélectrique Générateur de puissance via l'effet piézoélectrique

Figure 2 – Modèle conceptuel d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs

3.2 Transducteur piézoélectrique

3.2.1 effet piézoélectrique

phénomène selon lequel une déformation mécanique produit une polarisation électrique d'un matériau piézoélectrique et, inversement, une polarisation électrique produit une déformation mécanique

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-12-86, modifié]

3.2.2 constante de charge piézoélectrique

d_{ij}
polarisation générée par unité de contrainte mécanique appliquée à un matériau piézoélectrique

Note 1 à l'article: Le premier indice de d indique la direction de la polarisation générée dans le matériau lorsque le champ électrique est nul ou, éventuellement, la direction de l'intensité de champ appliquée. Le deuxième indice correspond à la direction de la contrainte appliquée ou de la déformation induite. d_{33} : contrainte induite dans la direction de l'axe Z par unité de champ électrique appliqué dans la direction de l'axe Z. d_{31} : contrainte induite dans la direction de l'axe X par unité de champ électrique appliqué dans la direction de l'axe Z.

3.2.3 coefficient de couplage électromécanique

k
valeur décrivant la vitesse de conversion de l'énergie électrique en une forme mécanique, ou inversement

Note 1 à l'article: Le coefficient est une combinaison des constantes élastique, diélectrique et piézoélectrique qui apparaît naturellement dans l'expression du transducteur piézoélectrique, comme suit

$$k = \frac{d}{(s\varepsilon)^{1/2}} \quad (1)$$

où

d est la constante de charge piézoélectrique

s est la complaisance élastique (inverse du module de Young) avec un champ électrique constant

ϵ est la permittivité du matériau piézoélectrique sujet à une contrainte constante

Note 2 à l'article: La relation du coefficient de couplage électromécanique avec la complaisance et le module de Young est expliquée dans l'Annexe B (informative).

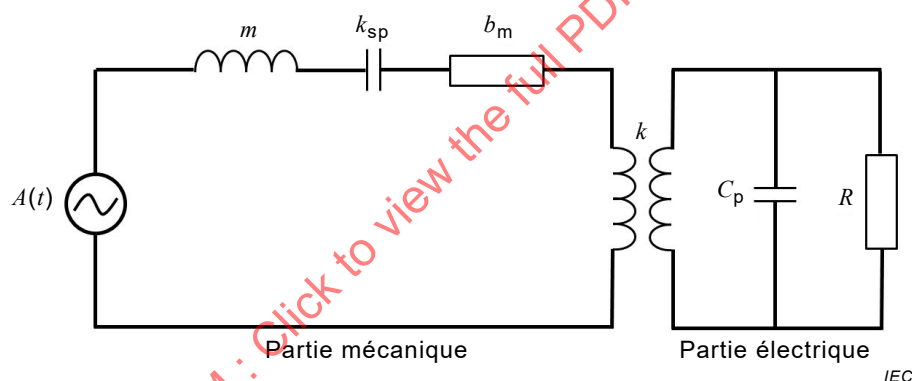
3.3 Paramètres de caractéristique

3.3.1

circuit équivalent

arrangement d'éléments de circuit idéaux qui possède des paramètres de circuit électriquement équivalents à ceux d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs

Note 1 à l'article: Le récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs peut être divisé en une partie mécanique et une partie électrique comme représenté à la Figure 3. La partie mécanique comprend des éléments de série m , k_{sp} , b_m , et un transformateur (élément de couplage entre les parties mécanique et électrique)- où m , k_{sp} , et b_m représentent respectivement la masse effective, la constante d'élasticité du ressort, l'amortissement; et l'effet piézoélectrique pour convertir la contrainte induite mécaniquement en une densité de charge électrique avec un coefficient de couplage k . La partie électrique est composée d'un montage en parallèle de C_p , de R , et du transformateur, où C_p et R représentent la capacité entre deux électrodes du transducteur piézoélectrique et une charge extérieure.



Légende

Partie mécanique

m	masse effective
k_{sp}	constante d'élasticité
b_m	coefficient d'amortissement
$A(t)$	vibration induite en réponse au choc appliqué

Partie électrique

C_p	capacité du transducteur piézoélectrique
R	charge extérieure

Figure 3 – Circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs

[SOURCE: IEC 60050-521:2002, 521-05-35, modifié]

3.3.2

fréquence propre

ω_n

fréquence de vibration libre du système d'amortissement masse-ressort du récupérateur d'énergie pour générer la plus grande puissance de sortie possible

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{sp}}{m}} \quad (2)$$

3.3.3

fréquence propre avec amortissement

ω_d

fréquence de vibration libre du système d'amortissement masse-ressort du récupérateur d'énergie intégrant l'amortissement en réponse à l'excitation par choc

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (3)$$

où ζ est le taux d'amortissement déterminé par un décrement logarithmique de la forme d'onde de la tension de sortie, normalisé à partir de l'amortissement électrique et mécanique.

3.3.4

amplitude de l'excitation par choc

amplitude d'accélération du choc appliqué de façon aléatoire au récupérateur d'énergie pour une durée maximale comme mesurée sur l'enveloppe, amplitude à laquelle le récupérateur d'énergie ne subit aucun dommage permanent bien qu'elle puisse se situer en dehors des tolérances spécifiées

4 Valeurs limites et paramètres de caractéristique essentiels

4.1 Identification et type

Le récupérateur d'énergie produite par les chocs doit être marqué de façon claire et durable, le marquage suivant l'ordre indiqué ci-dessous:

- l'année et la semaine (ou le mois) de fabrication,
- le nom du fabricant ou sa marque de fabrique,
- l'identification des bornes (facultative),
- le numéro de série,
- le code d'identification d'usine (facultatif).

4.2 Valeurs limites et conditions de fonctionnement

Il convient que les paramètres de caractéristique soient énumérés comme indiqué dans le Tableau 1. Le fabricant doit communiquer clairement les conditions de fonctionnement et leurs limites pour la récupération d'énergie. La valeur limite est la vibration induite maximale assurant le fonctionnement du récupérateur d'énergie de vibration pour la génération de puissance sans aucun dommage.

Tableau 1 – Paramètres de spécification pour les récupérateurs d'énergie piézoélectrique produite par les chocs

Paramètre	Symbole	Min.	Max.	Unité	Conditions de mesure
<i>Insérer le nom des paramètres de caractéristique</i>					

4.3 Informations supplémentaires

Il convient que certaines informations supplémentaires soient fournies, comme les circuits équivalents (fréquence propre, impédance interne, tension et puissance de sortie, etc.), les précautions de manipulation, les informations physiques (dimensions d'encombrement, bornes, accessoires, guide d'installation, etc.), les informations sur le boîtier, les informations de montage et d'interface de carte à circuit imprimé et d'autres informations, etc.

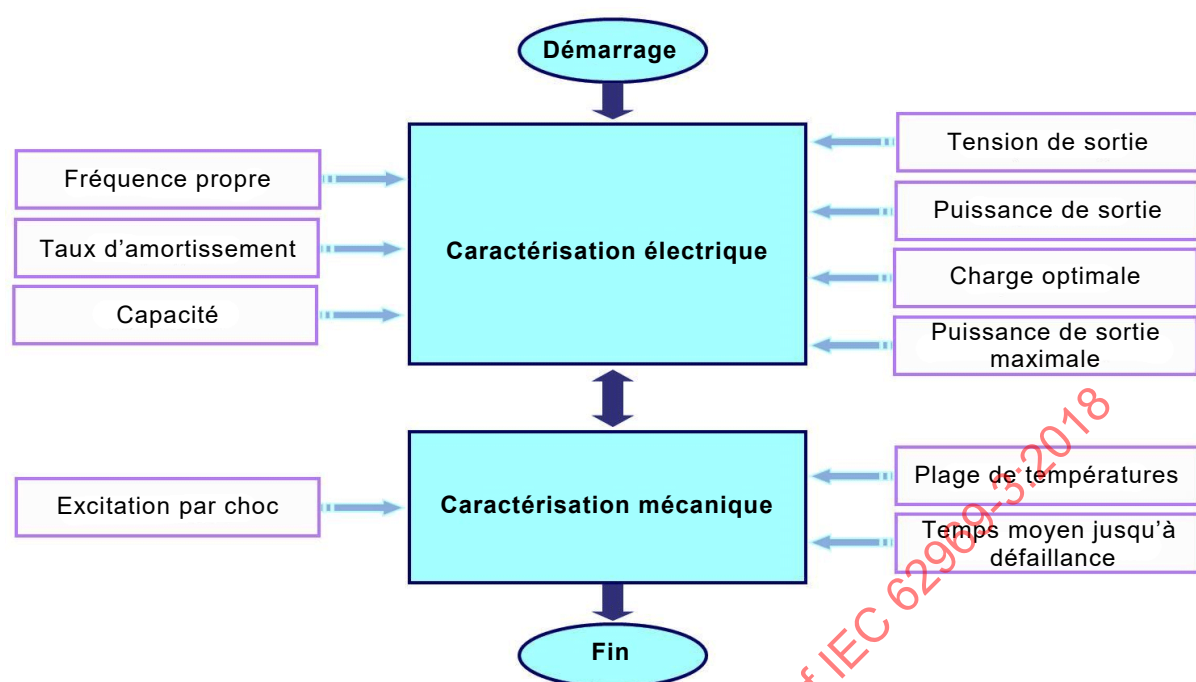
5 Méthode d'essai

5.1 Généralités

Fondamentalement, les procédures d'essai générales pour un récupérateur d'énergie produite par les chocs sont effectuées comme représenté à la Figure 4. Une fois le récupérateur d'énergie installé sur le montage d'essai, il fait l'objet de mesures par un voltmètre, un ampèremètre et un appareil de mesure RLC. Étant donné que les impédances d'entrée de ces appareils de mesure sont généralement de 10 M Ω , il convient que les récupérateurs d'énergie miniatures ou micrométriques ne soient pas caractérisés de façon précise du fait de leur impédance interne importante. Pour la mesure et la caractérisation précises de ces appareils, il convient d'utiliser des appareils de mesure à très haute impédance.

Avant de relier le récupérateur d'énergie au montage d'essai, l'appareil de mesure, le câble et le générateur de chocs doivent être étalonnés. Après l'étalonnage, relier le câble d'essai au montage d'essai du récupérateur d'énergie installé sur la table vibrante (générateur de chocs). La valeur de la tension ou du courant de sortie lue sur l'affichage des appareils de mesure est soigneusement relevée avec le choc appliqué, mesuré par l'accéléromètre.

NOTE Un récupérateur d'énergie produite par les chocs peut être mesuré comme représenté à la Figure 4. Après le montage du récupérateur d'énergie sur la table vibrante, les caractéristiques électriques sont mesurées à l'aide d'un appareil de mesure ou d'un équipement équivalent. Si les mesures sont satisfaisantes, un essai de fiabilité pour une utilisation commerciale est effectué avec des cycles de températures sur une plage établie et différents chocs et vibrations jusqu'à une défaillance mécanique.



IEC

Légende

Procédure	Paragraphe de référence	Procédure	Paragraphe de référence
Démarrage		Charge optimale	5.2.8
Caractérisation électrique		Puissance de sortie maximale	5.2.9
Fréquence propre	3.3.2 et 5.2.3	Caractérisation mécanique	
Taux d'amortissement	3.3.3 et 5.2.4	Plage de températures	5.3.2
Capacité	5.2.2	Excitation par choc	3.3.4 et 5.3.1
Tension de sortie	5.2.5	Temps moyen jusqu'à défaillance	5.3.3
Puissance de sortie	5.2.7		

Figure 4 – Procédure de mesure d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs

5.2 Caractéristiques électriques

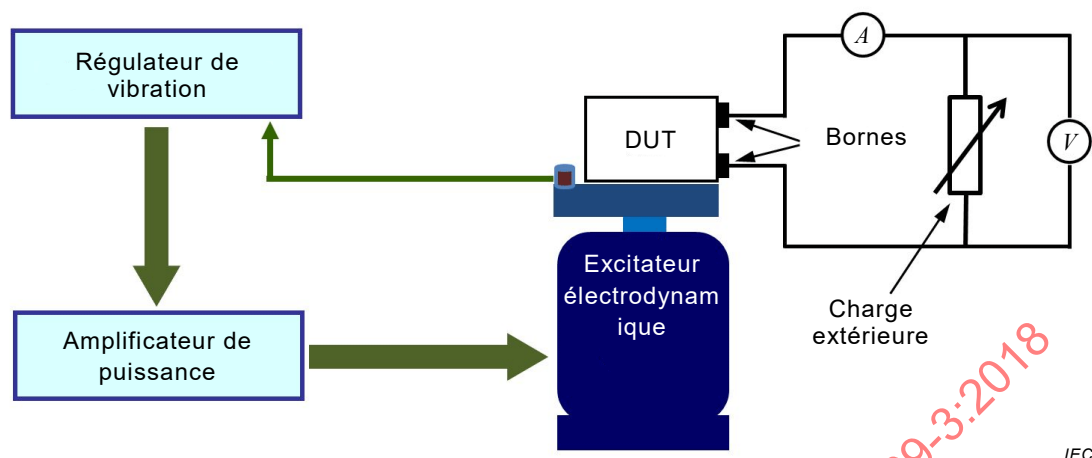
5.2.1 Procédure d'essai

La Figure 5 montre un montage d'essai des caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs. Pour mesurer les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs, l'appareil doit être fixé sur une table vibrante comme représenté à la Figure 5. Lorsqu'un type de choc particulier avec une amplitude d'accélération spécifique est appliqué sur l'appareil, une tension ou un courant de sortie est mesuré au travers d'une charge extérieure.

La procédure d'essai suivante est utilisée:

- Un choc spécifique est induit sur le récupérateur d'énergie.
- La tension ou le courant passant au travers de la charge extérieure branchée aux bornes du récupérateur d'énergie est mesuré à l'aide d'un voltmètre ou d'un ampèremètre.
- La tension et le courant sont mesurés avec plusieurs amplitudes d'accélération du choc en réglant le taux d'amplification de l'amplificateur de puissance.

- d) La tension et le courant maximal sont obtenus à partir des différentes charges extérieures pour trouver la charge optimale.



Légende

Composant et appareils de mesure pour la surveillance

DUT: dispositif en essai	Une partie du récupérateur d'énergie
Voltmètre (V)	Pour détecter une tension au travers de la charge extérieure
Ampèremètre (A)	Pour détecter une intensité au travers de la charge extérieure
Charge extérieure (R)	

Equipement et matériel

Régulateur de vibration	Pour produire et fournir un signal d'entraînement initial (type de choc spécifié) à l'amplificateur de puissance
Amplificateur de puissance	Pour fournir un niveau spécifié de puissance électrique au générateur de chocs
Excitateur électrodynamique	Pour fournir un niveau et un type de choc mécanique spécifiés à une partie du dispositif en essai

Figure 5 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs

5.2.2 Capacité

Il s'agit de la capacité mesurée entre deux bornes d'un appareil de récupération d'énergie. Un étalonnage d'un appareil de mesure RLC doit être entrepris afin d'éliminer les erreurs systématiques survenant au niveau des connecteurs, du câble et de l'appareil de mesure RLC. La capacité de l'appareil est affichée une fois celui-ci branché à l'appareil de mesure RLC.

5.2.3 Fréquence propre

Il s'agit de la fréquence, normalement exprimée en hertz (Hz), du récupérateur d'énergie dont la tension/puissance de sortie est obtenue. La Figure 6 montre la forme d'onde typique de la tension de sortie d'un récupérateur d'énergie stimulé par un choc et sa composante de fréquence obtenue par une transformée de Fourier rapide (FFT).

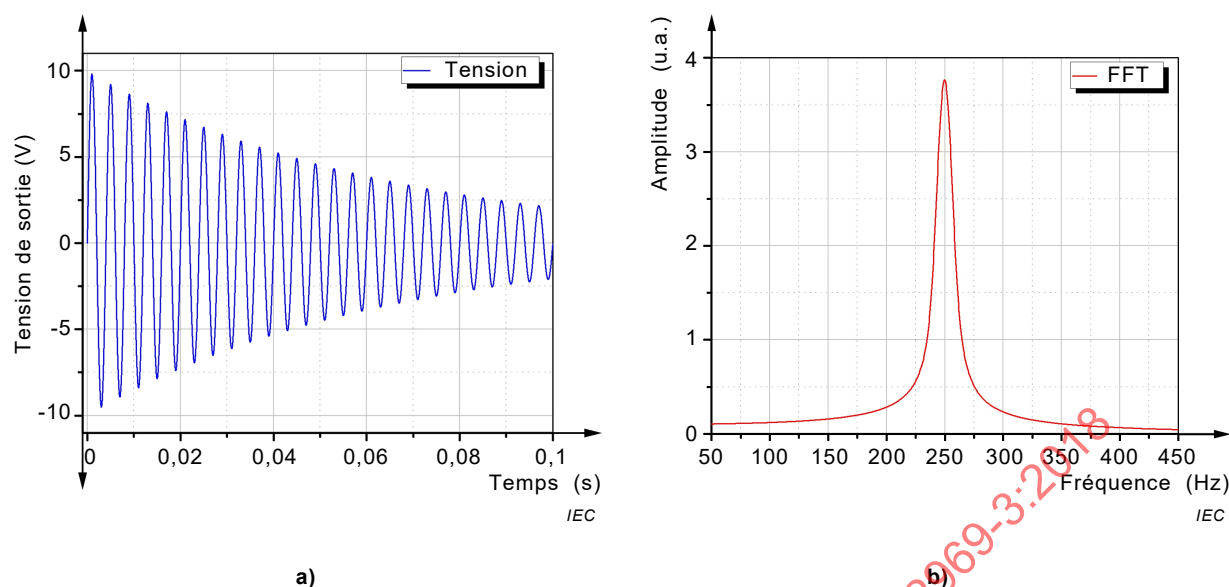


Figure 6 – Forme d'onde de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique produite par les chocs et sa composante de fréquence

5.2.4 Taux d'amortissement

Il s'agit d'une mesure indiquant comment une sortie décline avec le temps après l'application d'une impulsion de choc unique sur le récupérateur d'énergie. Il s'agit d'une grandeur sans dimension calculée à partir du décrétement logarithmique de la réponse de la tension de sortie à l'aide de la formule suivante:

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{a_1}{a_2} \right) \quad (4)$$

où a_1 et a_2 sont les deux amplitudes de crêtes consécutives de la forme d'onde de la tension.

5.2.5 Tension de sortie

Il s'agit de la tension crête à crête/valeur efficace de la tension pour une durée spécifiée, mesurée au travers des bornes du récupérateur d'énergie avec une charge extérieure spécifiée en réponse à un choc appliqué. La Figure 7 montre la forme graphique d'une tension de sortie mesurée en fonction de la charge résistive extérieure branchée à la borne du récupérateur d'énergie. La tension en circuit ouvert est la tension crête à crête mesurée/valeur efficace de la tension pour une durée spécifiée lorsqu'aucune charge extérieure n'est branchée sur la borne du récupérateur d'énergie lors d'une excitation par choc spécifique.