

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –

Part 7: Linear sliding mode triboelectric energy harvesting

Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et génération d'énergie –

Partie 7: Récupération d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

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 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –

Part 7: Linear sliding mode triboelectric energy harvesting

Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et génération d'énergie –

Partie 7: Récupération d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-9469-7

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.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
3.1 General terms	6
3.2 Triboelectric transducer	6
3.3 Characteristic parameters	7
4 Essential ratings and blank specification	10
4.1 Identification and type	10
4.2 Limiting values and operating conditions	10
4.3 Additional information	10
5 Test method	11
5.1 General.....	11
5.2 Electrical characteristics	12
5.2.1 Test procedure	12
5.2.2 Open-circuit voltage.....	13
5.2.3 Short-circuit current	14
5.2.4 Output voltage	14
5.2.5 Output current	14
5.2.6 Output power	15
5.2.7 Optimal load impedance	15
5.3 Mechanical characteristics	16
5.3.1 Test procedure	16
5.3.2 Contact area.....	17
5.3.3 Contact force	17
5.3.4 Displacement.....	18
5.3.5 Sliding speed	18
5.3.6 Relative humidity range	19
5.3.7 Temperature range	19
6 Test report.....	20
Annex A (informative) Linear sliding modes	22
A.1 Dielectric-to-dielectric sliding	22
A.2 Conductor-to-dielectric sliding.....	22
Annex B (informative) Example of experimental setup.....	23
Annex C (informative) Example of measurement for linear sliding mode triboelectric energy harvester.....	24
C.1 General.....	24
C.2 Linear sliding mode triboelectric energy harvester	24
C.2.1 Weight and dimension of tested sliding mode triboelectric energy harvesting device.....	24
C.2.2 Type, frequency, acceleration and displacement conditions of energy harvester	24
C.2.3 Measurement conditions and measurement results for open-circuit voltage	24
C.2.4 Measurement condition and measurement results for short-circuit current.....	25

C.2.5	Measurement conditions and measurement results for different acceleration	25
C.2.6	Measurement conditions and measurement results for different frequency	27
C.2.7	Measurement conditions and measurement results for different displacement	27
C.2.8	Measurement conditions and measurement results for output voltage and current at different loads	28
C.2.9	Measurement conditions and measurement results for output power.....	29
Bibliography.....		30
Figure 1 – Schematic of linear sliding mode triboelectric energy harvester.....		7
Figure 2 – Equivalent circuit diagram of linear sliding mode triboelectric energy harvester		8
Figure 3 – Measurement procedure for sliding mode triboelectric energy harvester.....		11
Figure 4 – Test setup for the electrical characteristics of linear sliding mode triboelectric energy harvester.....		12
Figure 5 – Instantaneous open-circuit output voltage characteristic.....		13
Figure 6 – Instantaneous short-circuit output current characteristic.....		14
Figure 7 – Output voltage and current at different loads.....		15
Figure 8 – Output power characteristic at various external loads.....		15
Figure 9 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability		16
Figure 10 – Output voltage for different surface contact areas		17
Figure 11 – Output voltage dependence on contact force.....		18
Figure 12 – Output voltage for varying displacement between interfacing layers		18
Figure 13 – Output voltage for different sliding speeds.....		19
Figure 14 – Output voltage under different relative humidity.....		19
Figure 15 – Output voltage at different temperature		20
Figure A.1 – Operation modes of linear sliding mode triboelectric energy harvester		22
Figure B.1 – Experimental setup for testing linear sliding mode triboelectric energy harvester		23
Figure C.1 – Photographs of the triboelectric energy harvester		24
Figure C.2 – Instantaneous open-circuit output voltage waveform.....		25
Figure C.3 – Instantaneous short-circuit output current waveform		25
Figure C.4 – Voltage waveform at 5 Hz frequency for different accelerations		26
Figure C.5 – Output voltage characteristic at various accelerations.....		27
Figure C.6 – Output voltage characteristic at different frequencies.....		27
Figure C.7 – Output voltage for varying displacements between interfacing layers at 5 Hz frequency		28
Figure C.8 – Output voltage and current at different loads		28
Figure C.9 – Output power characteristic at various external loads		29
Table 1 – Specification parameters for linear sliding mode triboelectric energy harvesters.....		10
Table C.1 – Measurement conditions		24

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES
FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –****Part 7: Linear sliding mode triboelectric energy harvesting**

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 62830-7 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
47/2676/FDIS	47/2686/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 62830 series, published under the general title *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation*, 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 document 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 62830-7:2021

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –

Part 7: Linear sliding mode triboelectric energy harvesting

1 Scope

This part of IEC 62830 defines terms, definitions, symbols, configurations, and test methods that can be used to evaluate and determine the performance characteristics of linear sliding mode triboelectric energy harvesting devices for practical use. This document is applicable to energy harvesting devices for consumer, general industries, military and aerospace applications without any limitations on device technology and size.

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 General terms

3.1.1

linear sliding

physical sliding of one material on another material in horizontal direction

3.1.2

sliding-based energy harvester

energy transducer that transforms physical sliding energy into electrical energy

Note 1 to entry: A linear sliding mode triboelectric energy harvester to convert linear sliding to electricity comprises dielectric materials, a surface electrode, an external load, and a relative displacement between dielectric materials as shown in Figure 1. The sliding makes the two dielectric material surfaces come into physical touch, and relative displacement makes the gap between those two materials. The top and bottom electrodes on the two dielectric materials harvest charges generated from the coupling of triboelectrification and electrostatic induction. The triboelectric charges are generated by the charge transfer between two thin organic/inorganic films that exhibit distinct surface electron affinity, and the potential difference results from the separation of the triboelectric charges; under short-circuit conditions, electrons are driven to flow between two electrodes attached on the back side of the films through the load in order to balance the potential difference resulting from mechanical action.

3.2 Triboelectric transducer

3.2.1

triboelectric effect

type of contact electrification in which certain materials become electrically charged after they come into frictional contact with a different material

3.2.2

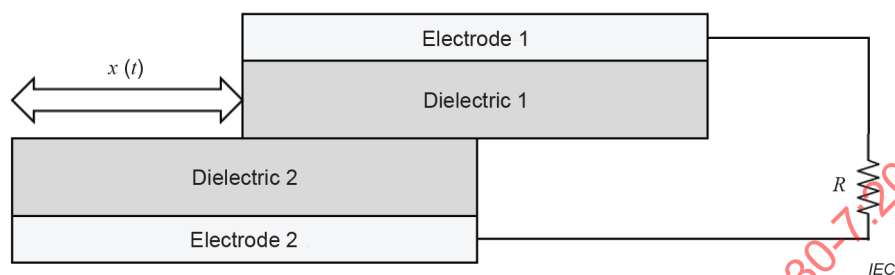
triboelectric series

list that ranks various materials according to their tendency to gain or lose electrons

3.2.3

triboelectric transducer

energy converter to generate electricity from mechanical energy by means of the triboelectric effect



Key

Configuration of energy harvester

$x(t)$ displacement

R external load

Figure 1 – Schematic of linear sliding mode triboelectric energy harvester

Note 1 to entry: A linear sliding mode triboelectric energy harvester can be divided into parts as shown in Figure 1. The equivalent circuit consists of capacitance C which stores charge as $+Q$ and $-Q$, open-circuit voltage source V_{oc} and external load R . Considering the materials to be used as the pair of the triboelectric layers, the sliding mode triboelectric nanogenerator (TENG) has two types: dielectric-to-dielectric and conductor-to-dielectric. The fundamentals of these two types are reported under Annex A.

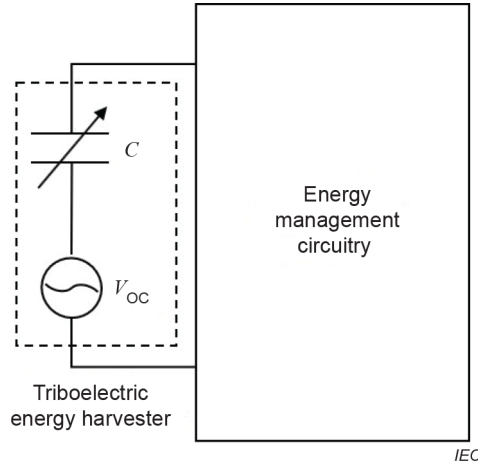
3.3 Characteristic parameters

3.3.1

equivalent circuit

electrical circuit block diagram that has the same output voltage from relative displacement-based linear sliding mode triboelectric energy harvester in the immediate neighborhood of the acting force

Note 1 to entry: An equivalent circuit diagram of linear sliding mode triboelectric energy harvester is shown in Figure 2.



Key parameters

C capacitance

V_{oc} open-circuit voltage

Figure 2 – Equivalent circuit diagram of linear sliding mode triboelectric energy harvester

3.3.2

V - Q - x relationship

relationship between the triboelectric output voltage, the amount of charge transferred between electrodes and the separation distance between tribological material surfaces

Note 1 to entry: Owing to the electrical potential superposition principle, the total voltage difference between the two electrodes can be given by Formula (1):

$$V = -\frac{l}{C}Q + V_{oc} = -\frac{d_0}{w\epsilon_0(l-x)}Q + \frac{\sigma d_0 x}{\epsilon_0(l-x)} \quad (1)$$

where, d_0 is effective dielectric thickness, w is dielectric width, ϵ_0 is the permittivity of the medium, σ is the surface charge density, l is the length of the dielectric material, x is the lateral separation distance, and other parameters are as defined before.

3.3.3

open-circuit voltage

V_{oc}

electrical potential difference relative to a reference node of an energy harvester when there is no external load connected to the terminal of the energy harvester

Note 1 to entry: The theoretical V_{oc} expression for the linear sliding mode triboelectric energy harvester is given by Formula (2):

$$V_{oc} = \frac{\sigma x}{\epsilon_0(l-x)} \left(\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}} \right) \quad (2)$$

where, d_1 and d_2 are the dielectric thickness, ϵ_{r1} and ϵ_{r2} are the permittivity of dielectric material 1 and 2, respectively, and the other parameters are as defined before.

3.3.4

short-circuit current

I_{sc}

current measured through the terminals of the energy harvester from induced excitation without external load

Note 1 to entry: The theoretical I_{sc} expression for linear sliding mode TENG is given by Formula (3)**Error! Bookmark not defined.:**

$$I_{sc} = \sigma w \frac{dx}{dt} = \sigma w v(t) \quad (3)$$

where w is the thickness of the dielectric material, $v(t)$ is the sliding speed of the triboelectric layer, and the other parameters are as defined before.

3.3.5

output voltage

V

electrical potential difference relative to a reference node of an energy harvester when an external load is connected to the terminal of the energy harvester

3.3.6

output current

I

<energy harvester device> current through the external load connected to the terminal of an energy harvester

3.3.7

output power

P

electrical power transferred to the external load connected to the terminal of an energy harvester

Note 1 to entry: The theoretical expression for the output power of linear sliding mode TENG is given by Formula (4):

$$P = VI \quad (4)$$

3.3.8

optimal load impedance

R_{opt}

specified value of the external load for transferring the largest electrical energy from the energy harvester

3.3.9

contact area

area of physical contact of one object with the other object

Note 1 to entry: When two objects touch, a certain portion of their surface areas will be in contact with each other. The contact area is the fraction of this area that consists of the atoms of one object in contact with the atoms of the other object. Because objects are never perfectly flat because of asperities, the actual contact area (on a microscopic scale) is usually much less than the contact area apparent on a macroscopic scale. The contact area may depend on the normal force between the two objects because of deformation.

3.3.10

contact force

applied force in the normal direction to the surface owing to friction at the interface of two triboelectric material surfaces

3.3.11

displacement

x

moving distance of one material from its original position

3.3.12 sliding speed

v
displacement per unit time of one material over another material surface while maintaining continuous contact

3.3.13 relative humidity range

range of humidity as measured on the enclosure over which the energy harvester will not sustain permanent damage though not necessarily functioning within certain tolerances

3.3.14 temperature range

range of temperatures 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 blank specification

4.1 Identification and type

The linear sliding mode triboelectric energy harvester shall be clearly and durably marked with the following information, in the order given below:

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

4.2 Limiting values and operating conditions

Characteristic parameters should be listed in as shown in Table 1. The manufacturer shall clearly announce the operating conditions and their limitation for energy harvesting. The limiting value is the maximum operating cycle to ensure the operation of the linear sliding mode energy harvester for power generation without any damage.

Table 1 – Specification parameters for linear sliding mode triboelectric energy harvesters

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

4.3 Additional information

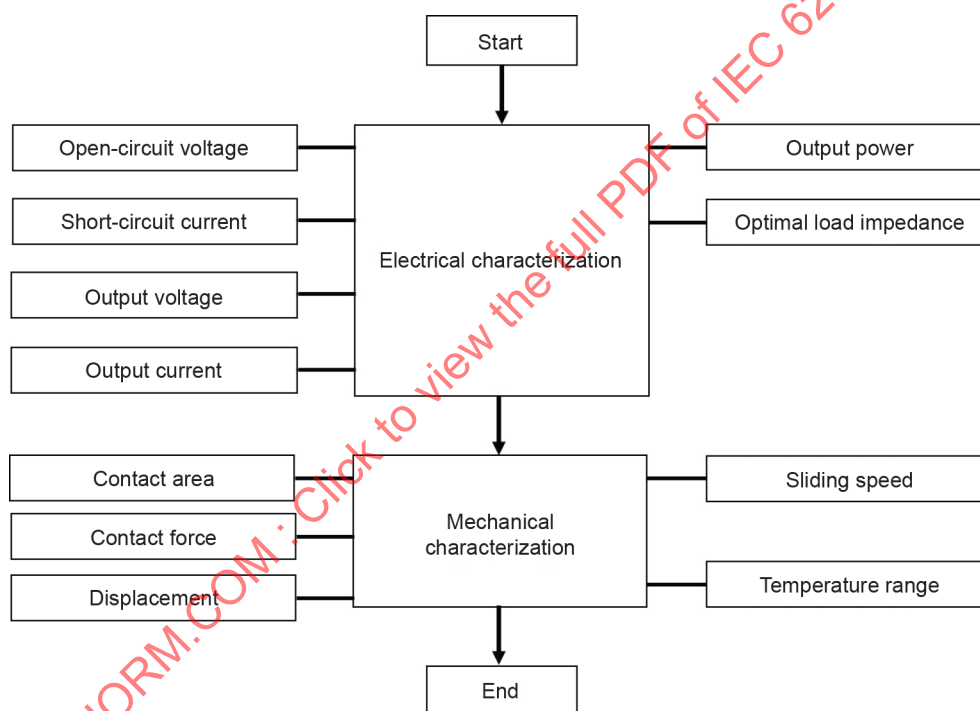
Some additional information should be given, such as equivalent circuits (relative displacement, internal impedance, output voltage, current, and power, etc.), handling precautions, physical information (outline dimensions, terminals, etc.), accessories, installation guide, package information, PCB interface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

5 Test method

5.1 General

Basically, general test procedures for a linear sliding-based energy harvester are performed as shown in Figure 3. After the linear sliding mode triboelectric energy harvester has been mounted on a test fixture, it is measured by using an oscilloscope/electrometer and a linear variable differential transformer (LVDT). For measuring and characterizing these devices accurately, ultra-high-impedance meters should be used. Before connecting the triboelectric energy harvester to the test fixture, measuring meters shall be calibrated. After calibration, connect a test cable to the energy harvester test fixture mounted on an actuator or a force gauge. The output voltage or current reading on the display of the meters is carefully taken, together with induced linear displacement, which is measured by the LVDT.

After mounting the energy harvester on an actuator, the electrical characteristics are measured by using a meter or equivalent equipment. If the electrical characteristic measurements are satisfactory, the reliability test is performed under the relative humidity range with thermal cycling and various excitations.



IEC

Key			
Procedure	Reference subclause	Procedure	Reference subclause
Start			
Electrical characterization		Mechanical characterization	
Open-circuit voltage	3.3.3 and 5.2.2	Contact area	3.3.9 and 5.3.2
Short-circuit current	3.3.4 and 5.2.3	Contact force	3.3.10 and 5.3.3
Output voltage	3.3.5 and 5.2.4	Displacement	3.3.11 and 5.3.4
Output current	3.3.6 and 5.2.5	Sliding speed	3.3.12 and 5.3.5
Output power	3.3.7 and 5.2.6	Relative humidity range	3.3.13 and 5.3.6
Optimal load impedance	3.3.8 and 5.2.7	Temperature range	3.3.14 and 5.3.7

Figure 3 – Measurement procedure for sliding mode triboelectric energy harvester

5.2 Electrical characteristics

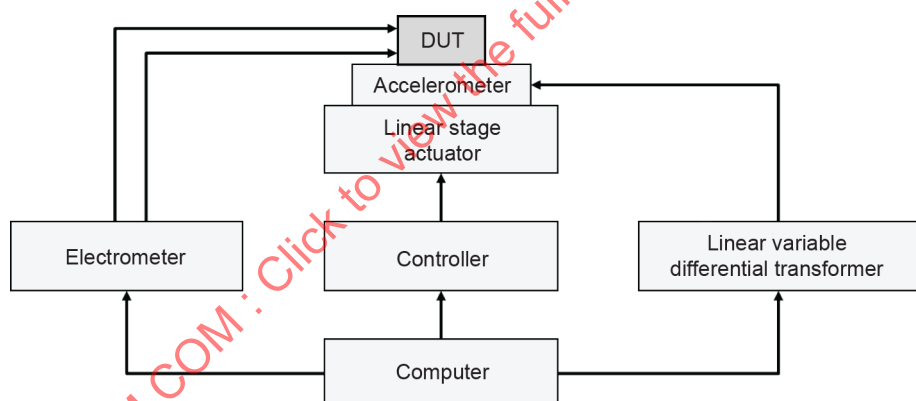
5.2.1 Test procedure

Figure 4 shows a test setup for measuring the electrical characteristics of a linear sliding mode triboelectric energy harvester. To measure the electrical characteristics of the energy harvester, the device shall be mounted on a linear stage actuator as shown in Figure 4. When a linear displacement is applied to the device, an output voltage or current across an external load is measured. The peak-to-peak value, RMS value, and frequency information for the instantaneous output waveform of the harvester can be obtained from the measuring equipment.

A description of two different linear sliding modes is given in Annex A. An example of experimental setup is described in Annex B. An example of measurement for a linear sliding mode triboelectric energy harvester is described in Annex C.

The following test procedure is performed:

- 1) A specified relative sliding is induced to the energy harvester.
- 2) 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.
- 3) The voltage and current are measured with various excitation by adjusting the parameters via a computer.
- 4) The maximum voltage and current are derived from various external loads to find the optimal load.



IEC

Key

Input exciter and meters to monitor

DUT: device under test	energy harvester
Electrometer	to detect voltage, current, amount of charge transfer and resistance
Computer	to select input excitation and to get data points
Accelerometer	to measure the input excitation
Linear stage actuator	to apply linear motion as input in energy harvester
Controller	to control linear stage actuator
Linear variable differential transformer	to measure displacement between layers of energy harvesting device

Figure 4 – Test setup for the electrical characteristics of linear sliding mode triboelectric energy harvester

5.2.2 Open-circuit voltage

The objective of this test is to evaluate the instantaneous output voltage across the terminals of the energy harvester without external load. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. When measuring open-circuit voltage, the input impedance of the voltage meter shall be recorded. Figure 5 shows the measured instantaneous peak-peak open-circuit output voltage profiles as a function of time. When measuring voltage, the input impedance of the meter shall be many decades higher than the impedance of the voltage source. For example, if the meter's input impedance is only 1 G Ω (typical of DMMs), and the source of voltage has 10 M Ω of impedance, then the meter will introduce a 1 % error owing to its relatively low input impedance. In contrast, an electrometer with 10¹⁴ Ω input impedance will cause only a 0,000 01 % error. Therefore, an input impedance of 10¹⁴ Ω is recommended for electrical measurements. Furthermore, parasitic capacitances in the system easily cause a long charging-discharging time constant. For example, if the capacitance is only 10 pF, a test resistance of 1 T Ω will result in a time constant of 10 s. Thus, a settling time of 50 s would be required for the reading to settle to within 1 % of final value. In order to minimize settling times when measuring high resistance values, shunt capacitance in the system shall be kept to an absolute minimum by keeping connecting cables as short as possible. The effect of voltage leakage and parasitic capacitance can be diminished further by shielding the cables and guarding the measurement device. Therefore, a shielded, low noise, triax cable (model 237-ALG-2 ¹) with guard mode ON on the Electrometer 6514² is recommended to be used for electrical measurements.

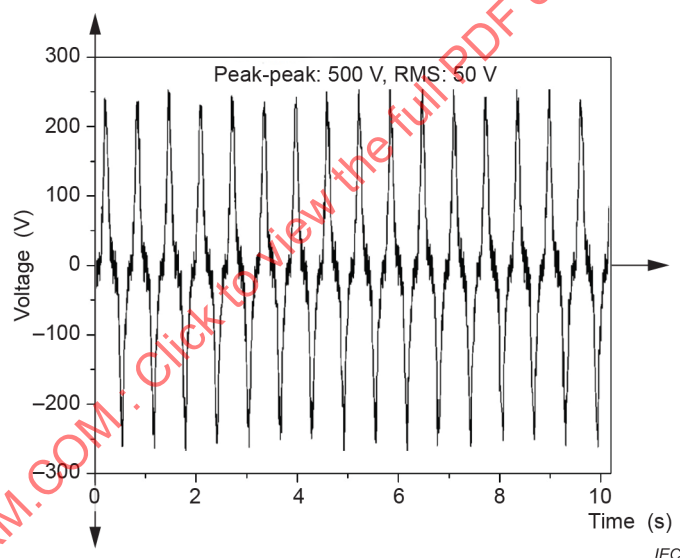


Figure 5 – Instantaneous open-circuit output voltage characteristic

- ¹ 237-ALG-2 is the trademark of a product supplied by Keithley Instruments Inc. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.
- ² Electrometer 6514 is the trademark of a product supplied by Keithley Instruments Inc. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

5.2.3 Short-circuit current

The objective of this test is to evaluate the instantaneous output current measured through the terminals of the energy harvester from induced excitation without external load. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. The measured instantaneous peak-peak short-circuit current profiles of the linear sliding mode triboelectric energy harvester are shown in Figure 6. When measuring the short-circuit current, the input impedance of the current meter shall be recorded. Minimizing voltage burden ensures maximum accuracy for current measurement. Pico-ammeters, source measure units, and electrometers all use the feedback ammeter circuit technology ($\approx$ zero internal impedance), which minimizes voltage burden, typically to a few hundred microvolts. In comparison, a digital multimeter, which uses a shunt resistance technique to measure current, can have voltage burdens of tenths of volts. Therefore, the use of Electrometer 6514 for precision low-current measurement is recommended. It is also important for the current measurement instrumentation to have a low bias current, because any current coming out of the meter input will be forced through the source. Electrometers use active cancellation to reduce bias current to single femtoampere level. A bias current as small as < 3 fA is recommended for the precision low-current measurement instrument.

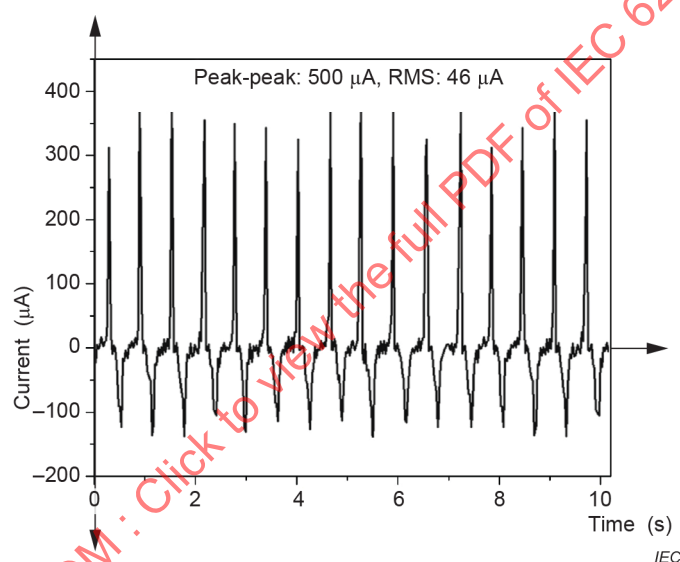


Figure 6 – Instantaneous short-circuit output current characteristic

5.2.4 Output voltage

The objective of this test is to evaluate the output voltage of the energy harvester under external load resistances. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. Figure 7 shows the graphical plot of measured output voltage (Y -axis on the right) as a function of the external resistive load connected to the electric output terminals of the energy harvester.

5.2.5 Output current

The objective of this test is to evaluate the output current of the energy harvester under external load resistances. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. Figure 7 also shows the graphical plot of the measured output current (Y -axis on the left) as a function of the external resistive load connected to the electric output terminals of the energy harvester.

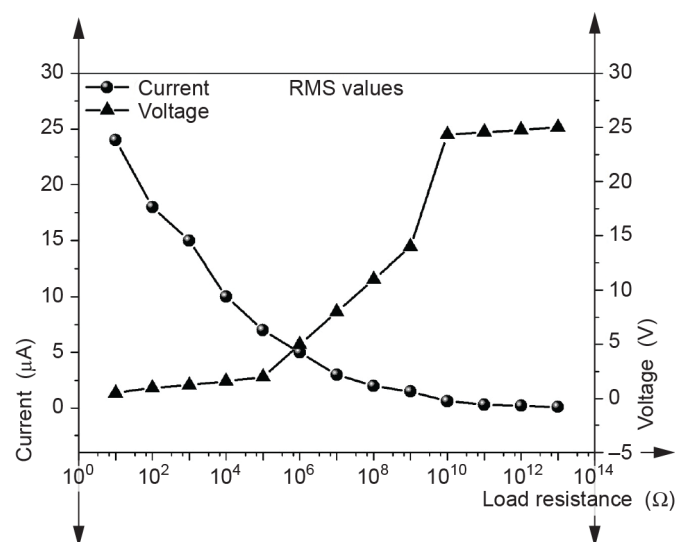


Figure 7 – Output voltage and current at different loads

5.2.6 Output power

The objective of this test is to evaluate the output power from the multiplication value of the measured output voltage and current of the energy harvester with external load. The average power is calculated using Formula (4). Figure 8 shows the graphical shape of the calculated average output power as a function of the external load of the energy harvester. The maximum average power is 25 μW .

5.2.7 Optimal load impedance

The objective of this test is to evaluate the optimal load impedance which is determined as the value of the external load when the output power of the energy harvester is maximized. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. As shown in Figure 8, the optimum/matched load impedance is 1 M Ω .

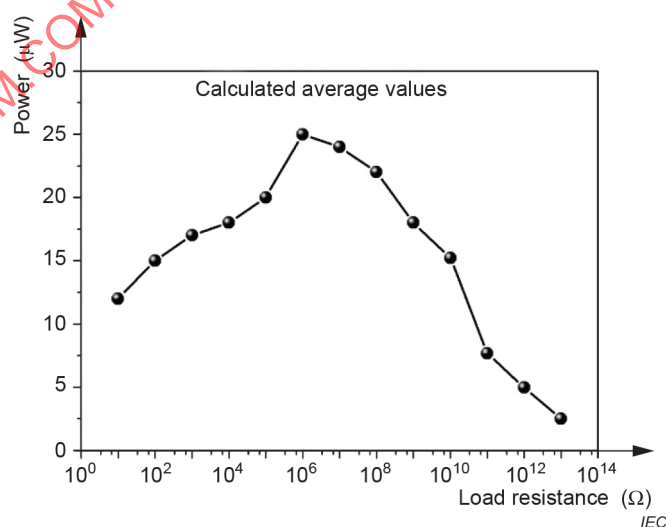


Figure 8 – Output power characteristic at various external loads

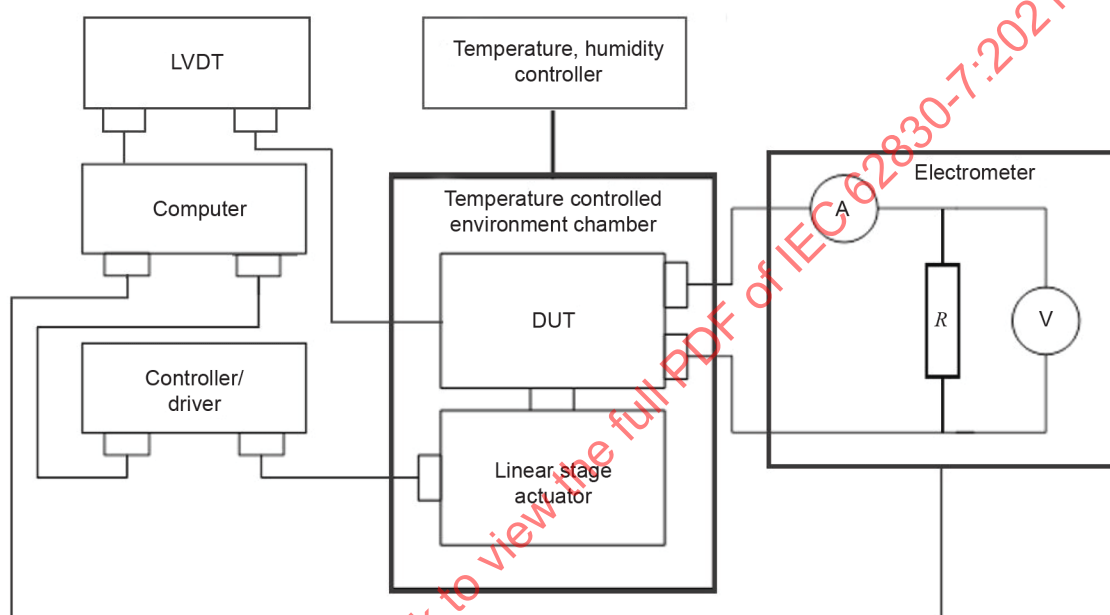
5.3 Mechanical characteristics

5.3.1 Test procedure

Figure 9 shows a test setup for evaluating the reliability of a linear sliding mode triboelectric energy harvester. When a relative sliding is applied between two triboelectric layers of 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:

- 1) An external sliding is induced to the energy harvester.
- 2) The output voltage or current of the energy harvester is measured by the meter.



IEC

Key

Component and meters to monitor

DUT: device under test	energy harvester
Voltage meter (V)	to detect a voltage across the external load
Ampere meter (A)	to detect a current through the external load

Equipment and supplies

Linear stage actuator	to supply a specified speed/ force
Computer	to control input parameters for liner motor, force gauge and electrometer
Controller	to control linear stage actuator
LVDT	linear variable differential transformer to measure displacement
Temperature, humidity controller	to keep a specified temperature and humidity value of a DUT

Figure 9 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability

5.3.2 Contact area

The objective of this test is to evaluate the relationship between the electrical output performance and the area of the triboelectric surfaces. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 1 cm/2 cm/4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. The measured output voltage profiles for the different triboelectric surface areas are shown in Figure 10. It is clearly observed that increased contact area results in higher output performance of the energy harvester.

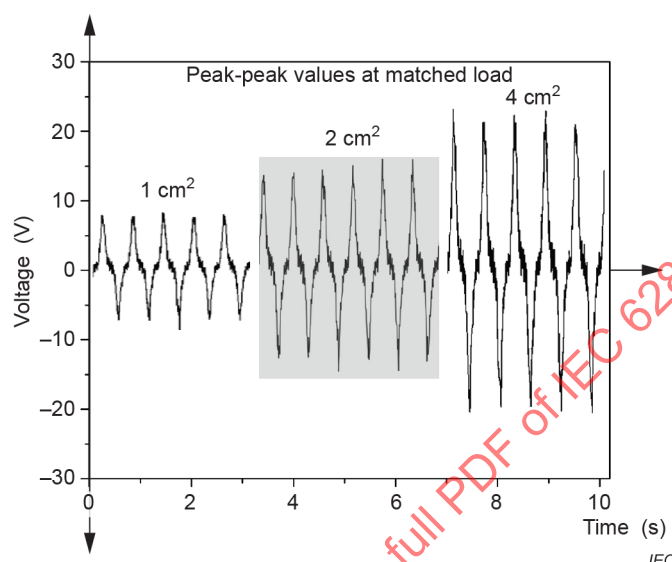


Figure 10 – Output voltage for different surface contact areas

5.3.3 Contact force

The objective of this test is to evaluate the performance of the device with varying contact force at the interface of two triboelectric material layers. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 5 N/10 N/20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. A larger contact force increases the triboelectric charge density and thereby results in a higher output performance of the device. The dependence of the output voltage on the contact force is shown in Figure 11.

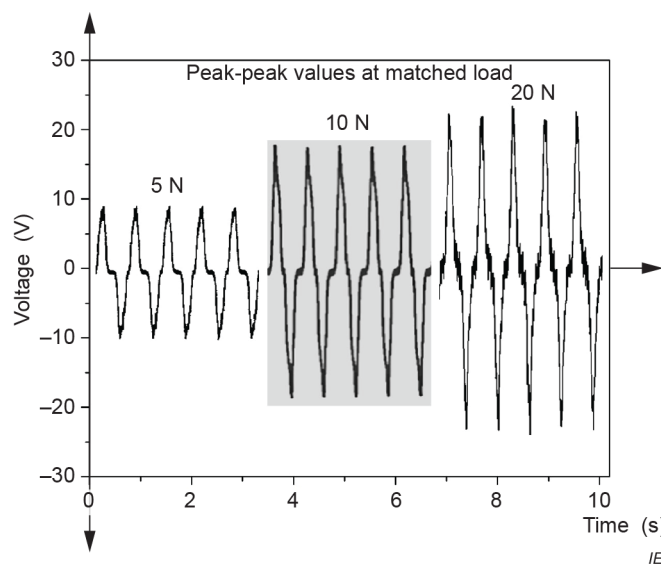


Figure 11 – Output voltage dependence on contact force

5.3.4 Displacement

The objective of this test is to evaluate the performance of the device with varying displacement between two layers. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 0 cm to 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. The increase of displacement between two triboelectric layers results in higher potential difference, and so the output voltage also increases as shown in Figure 12.

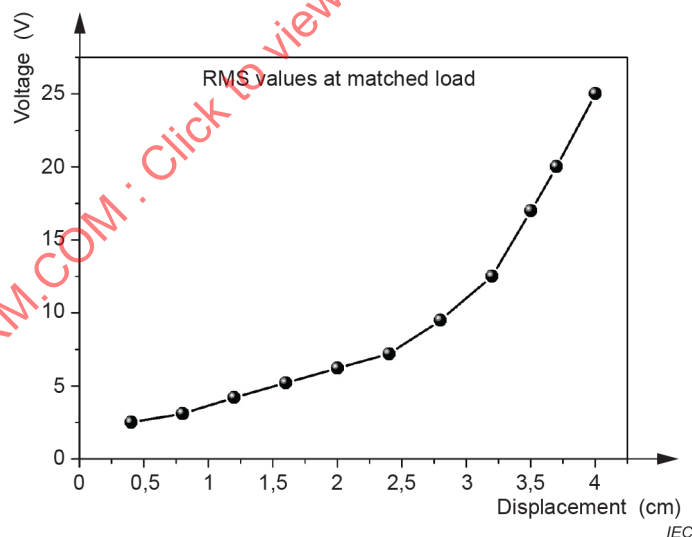


Figure 12 – Output voltage for varying displacement between interfacing layers

5.3.5 Sliding speed

The objective of this test is to evaluate the output performance of the device at different sliding speed between two layers. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 0 mm/s to 100 mm/s, 4 cm, 4 mm², and sinusoidal wave, respectively. The increase of sliding speed between two triboelectric layers results in higher potential difference, so the output voltage also increases as shown in Figure 13.

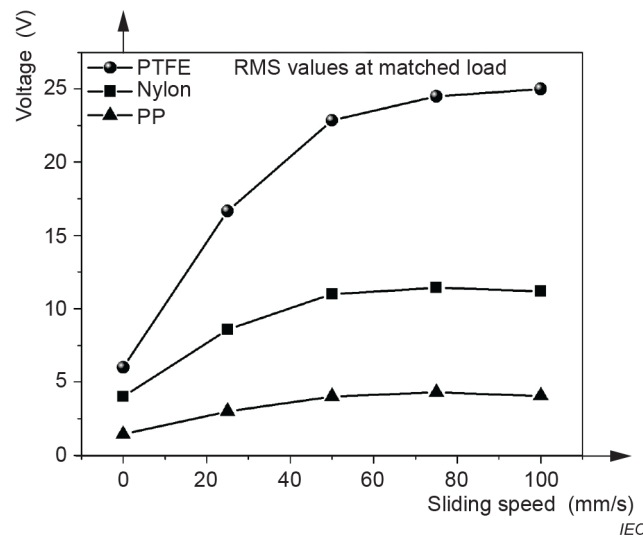


Figure 13 – Output voltage for different sliding speeds

5.3.6 Relative humidity range

The test is performed in the humidity cycling test chamber with specific temperature, while the energy harvester is put inside the chamber and the performance is observed remotely. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, temperature, and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², room temperature (about 23 °C), and sinusoidal wave, respectively. The performance characteristics are monitored by a hygrometer. At a given temperature, an increase in the relative humidity causes an unsteady decrease in the output voltage, as shown in Figure 14.

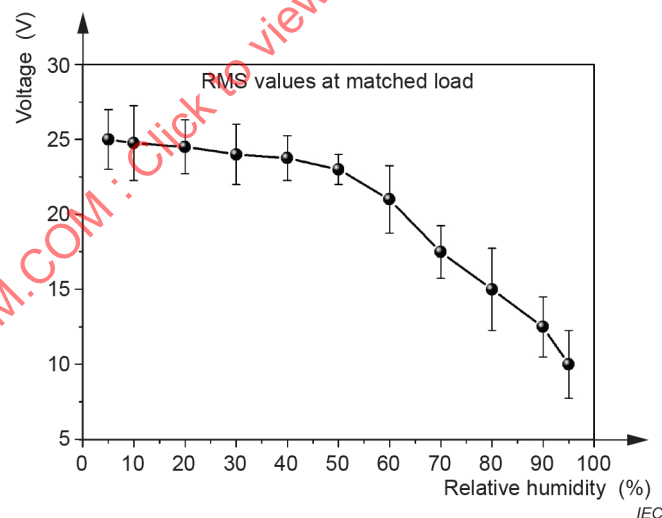


Figure 14 – Output voltage under different relative humidity

5.3.7 Temperature range

The objective of this test is to evaluate the reliability of the energy harvester by a low/high temperature cycling test. The input frequency, contact force, sliding speed, displacement, contact area, relative humidity (% RH), and input waveform for this measurement are 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm², 30 % RH, and sinusoidal wave, respectively. The temperature range should be specified from the applications. At a given relative humidity, the increase in the temperature beyond room temperature causes a decrease in the charge generated due to triboelectrification, as shown in Figure 15.

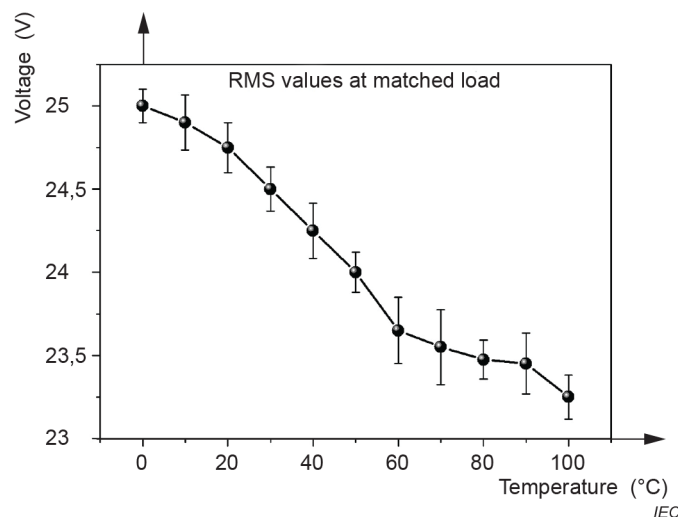


Figure 15 – Output voltage at different temperature

6 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,
 - input frequency,
 - measurement accuracy,
 - input impedance,
 - input capacitance;
- 4) characteristics of linear stage actuator:
 - maximum sine force,
 - frequency range;
- 5) method for fixation of the energy harvesting device on the linear stage actuator;
- 6) measurement conditions:
 - external load,
 - frequency response,
 - measurement time,
 - measurement environment (temperature and relative humidity);
- 7) measurement results:
 - output voltage waveform,
 - peak-to-peak output voltage,
 - RMS output voltage,
 - RMS output current,
 - mean output power;

b) optional:

- 1) purpose of testing,
- 2) structure of tested device,
- 3) principle of power generation,
- 4) output impedance of the tested device.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-7:2021

Annex A (informative)

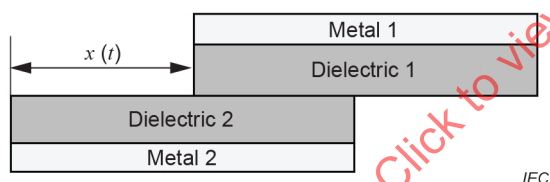
Linear sliding modes

A.1 Dielectric-to-dielectric sliding

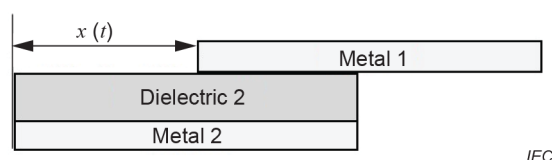
Two metal electrodes are bonded with the two dielectrics layers. The bottom part is fixed while the top can slide through the longitudinal direction. The lateral separation distance is defined as x . When the two dielectrics are separated, the lower surface of Dielectric 1 and the upper surface of Dielectric 2 have charges with different signs at the non-overlapped regions, which are caused by the triboelectric effect. As with the attached-electrode contact-mode TENGs, it is reasonable to assume that those triboelectric charges are uniformly distributed on these two surfaces, which is an excellent approximation for insulators. Also, the decay of tribo-charges with time can be neglected on these insulating polymers. The dielectric-to-dielectric mode is illustrated in Figure A.1a).

A.2 Conductor-to-dielectric sliding

For conductor-to-dielectric attached-electrode sliding-mode TENGs, the only geometrical structure difference is the absence of Dielectric 1. In this case, Metal 1 is not only the top triboelectric layer but also the top electrode itself. When Metal 1 and Dielectric 2 are separated, owing to the triboelectric effect the upper surface at the separation region of Dielectric 2 has the uniform tribo-charges, and the same amount of tribo-charges with the opposite sign will exist on the surface of Metal 1. The conductor-to-dielectric mode is illustrated in Figure A.1b).



a) Schematic of dielectric-to-dielectric mode



b) Schematic of conductor-to-dielectric mode

Figure A.1 – Operation modes of linear sliding mode triboelectric energy harvester

Annex B

(informative)

Example of experimental setup

Figure B.1 shows a schematic diagram of the novel testing platform for evaluating friction-electrification coupling of a linear sliding-mode TENG. Two parts of a TENG are mounted on the up and down holder. The adjusting screw rod and balancing weight are used to control the contact level status of the two parts. The linear motor drives the down-part's reciprocating moving, and thus the two parts' periodical overlap and separation. The strain gauges are fixed to the cantilever to detect the friction force. An electrometer is used to measure the output voltage, and a low-noise current preamplifier is used to measure the output current. An electrostatic shielding box is designed to improve the anti-interference property, and all apparatus are well grounded.

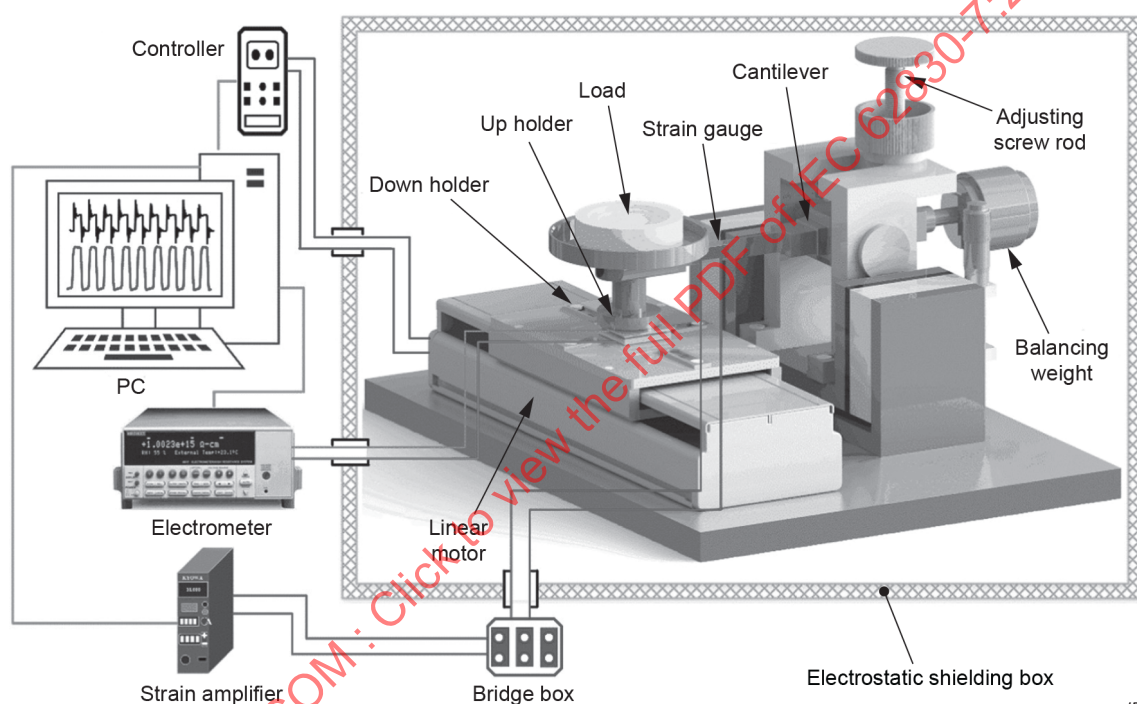


Figure B.1 – Experimental setup for testing linear sliding mode triboelectric energy harvester

Annex C (informative)

Example of measurement for linear sliding mode triboelectric energy harvester

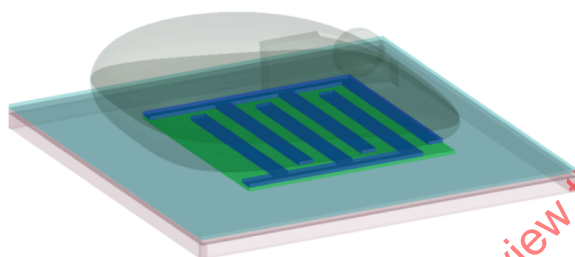
C.1 General

Annex C describes an example of measurement for a linear sliding mode triboelectric energy harvester.

C.2 Linear sliding mode triboelectric energy harvester

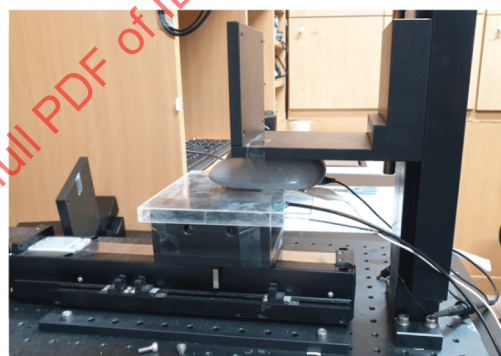
C.2.1 Weight and dimension of tested sliding mode triboelectric energy harvesting device

Figure C.1 shows the schematic structure of sliding mode triboelectric energy harvester. Its dimension are 50 mm × 40 mm × 2 mm, and its weight is 1 g.



IEC

a) Schematic structure



IEC

b) Fabricated devices under test

Figure C.1 – Photographs of the triboelectric energy harvester

C.2.2 Type, frequency, acceleration and displacement conditions of energy harvester

Different frequency, acceleration and displacement were employed for output characterization as summarized in Table C.1.

Table C.1 – Measurement conditions

Type	Triboelectric
Frequency range	From 1 Hz to 10 Hz
Acceleration range	From 5 m/s ² to 30 m/s ²
Displacement range	From 1 mm to 100 mm

C.2.3 Measurement conditions and measurement results for open-circuit voltage

Input frequency and acceleration were chosen as 5 Hz and 25 m/s². Figure C.2 shows the open-circuit voltage waveform for a 5 Hz operating frequency. The peak-to-peak voltage was approximately 220 V.

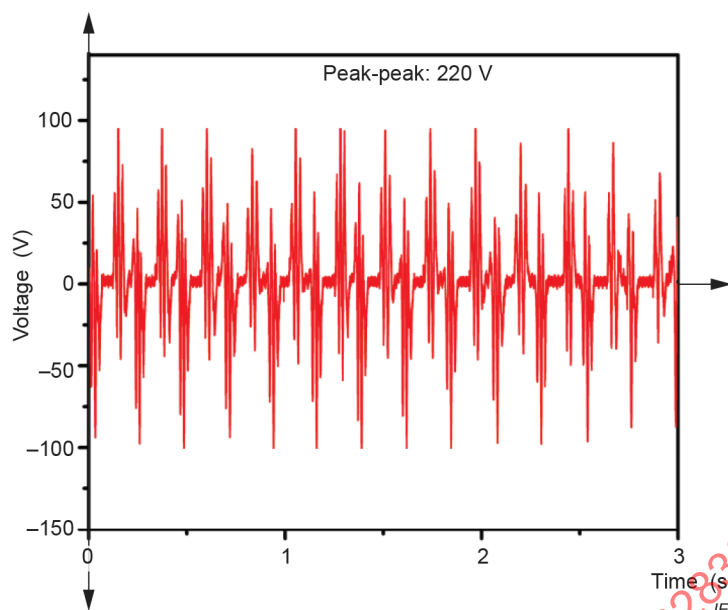


Figure C.2 – Instantaneous open-circuit output voltage waveform

C.2.4 Measurement condition and measurement results for short-circuit current

Input frequency and acceleration were chosen as 5 Hz and 25 m/s². Figure C.3 shows the short-circuit current waveform for a 5 Hz operating frequency. The peak-to-peak current was approximately 25 µA.

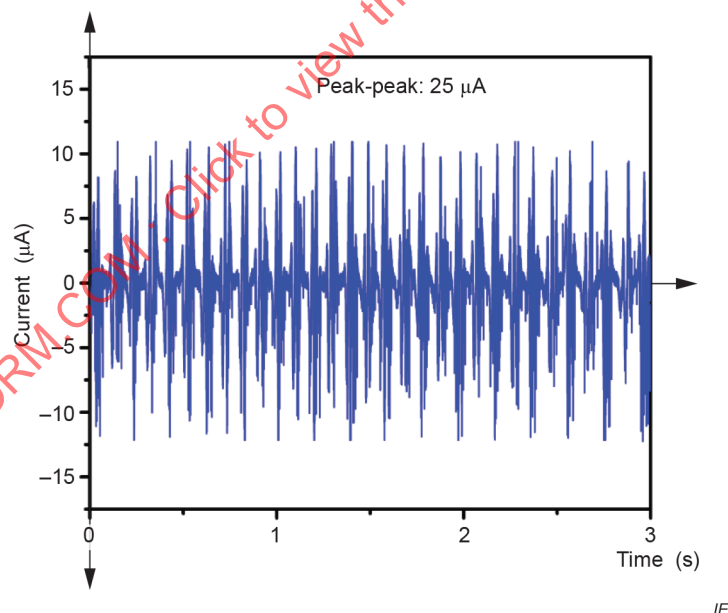


Figure C.3 – Instantaneous short-circuit output current waveform

C.2.5 Measurement conditions and measurement results for different acceleration

Input frequency was chosen as 5 Hz. The acceleration is 5 m/s², 10 m/s², 15 m/s², 20 m/s², 25 m/s² and 30 m/s². Figure C.4 shows the output voltage waveform for a 5 Hz frequency at different accelerations. Figure C.5 shows the summarized output voltage for 5 Hz excitation frequency at different accelerations. The amplitude and output voltage are increased with increasing acceleration, where the maximum output voltage reaches 30 m/s² acceleration.

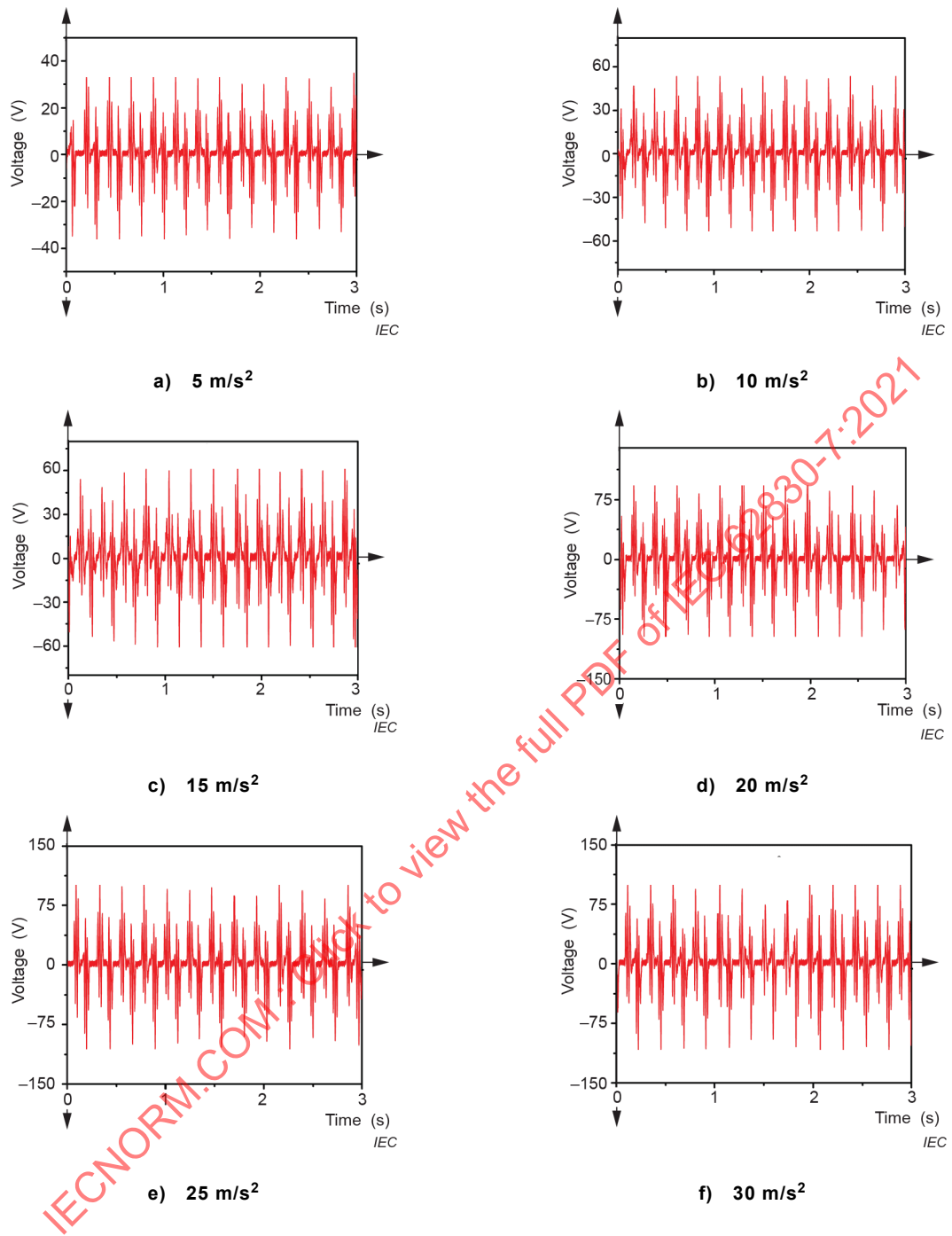


Figure C.4 – Voltage waveform at 5 Hz frequency for different accelerations

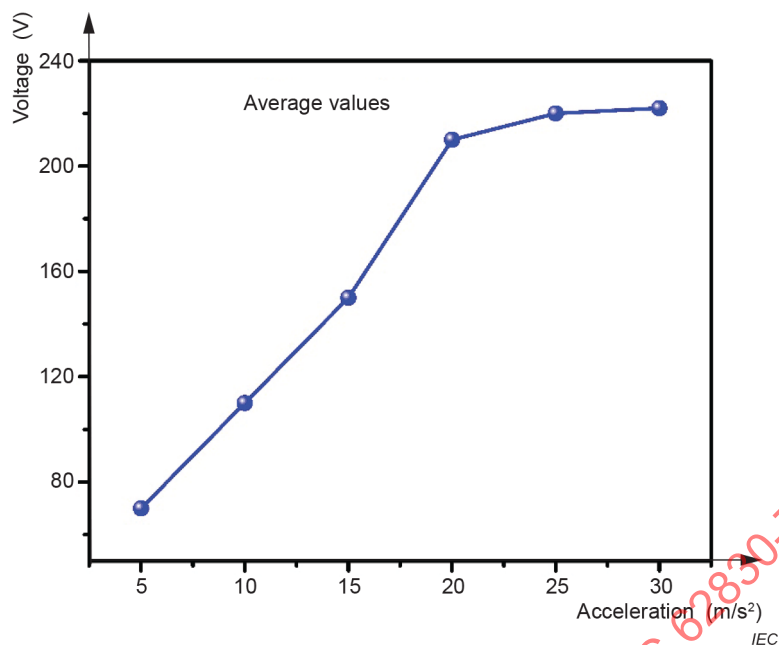


Figure C.5 – Output voltage characteristic at various accelerations

C.2.6 Measurement conditions and measurement results for different frequency

The displacement and acceleration were chosen as 100 mm and 25 m/s². The frequency was varying from 1 Hz to 10 Hz. Figure C.6 shows the output voltage at different frequencies. The output voltage is increased with increasing frequency, where the maximum output voltage reaches 10 Hz frequency.

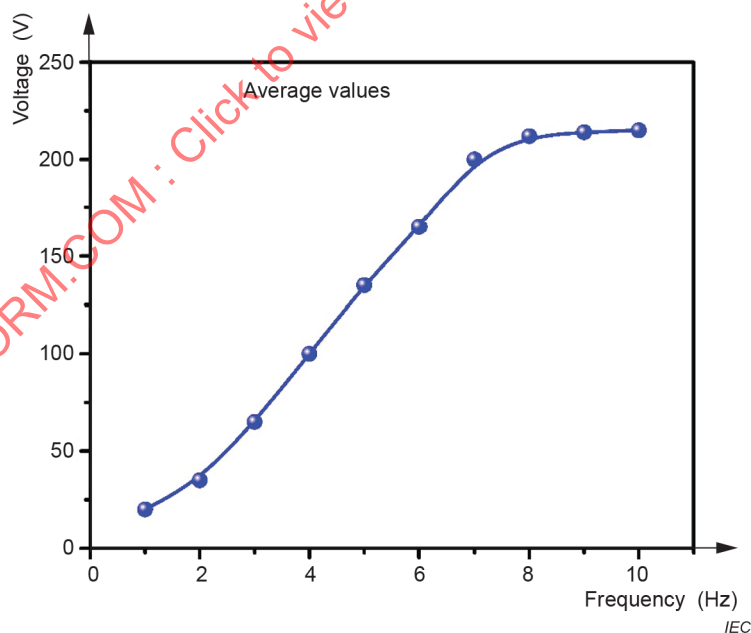


Figure C.6 – Output voltage characteristic at different frequencies

C.2.7 Measurement conditions and measurement results for different displacement

Input frequency and acceleration were chosen as 5 Hz and 25 m/s². Figure C.7 shows the output voltage for 5 Hz excitation frequency at different displacements. The output voltage is increased with increasing displacement, where the maximum output voltage reaches 100 mm displacement.

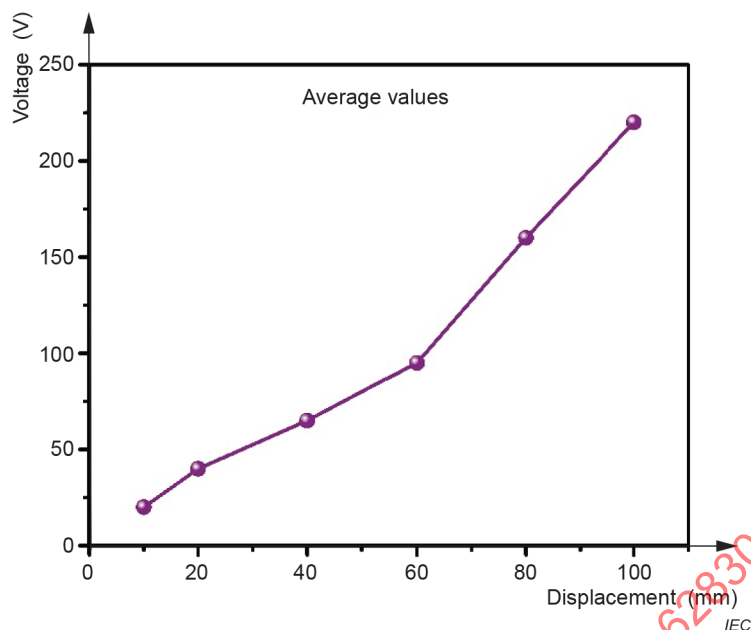


Figure C.7 – Output voltage for varying displacements between interfacing layers at 5 Hz frequency

C.2.8 Measurement conditions and measurement results for output voltage and current at different loads

Input frequency and acceleration was chosen as 5 Hz and 25 m/s^2 . Figure C.8 shows the relationships between the electrical output (voltage and current) and various external load resistances under 25 m/s^2 acceleration at a 5 Hz frequency. The output peak voltage increased with the increasing external load resistance, whereas the peak output current showed the opposite trend across the external load.

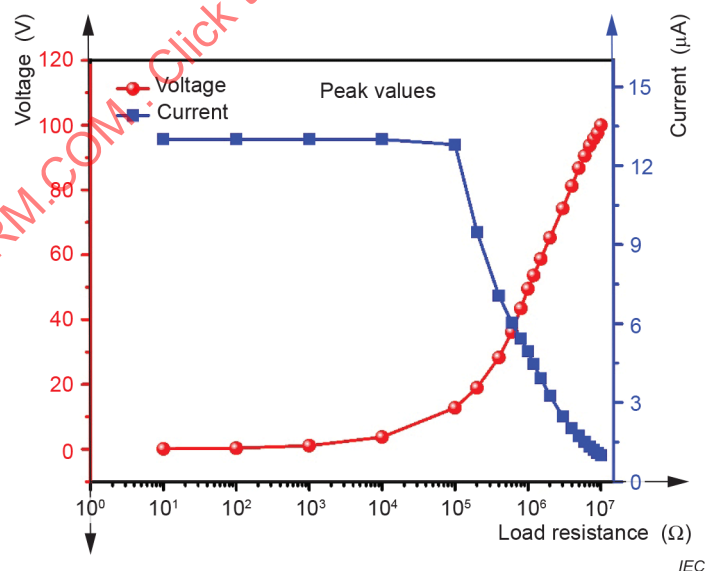


Figure C.8 – Output voltage and current at different loads

C.2.9 Measurement conditions and measurement results for output power

Input frequency and acceleration were chosen as 5 Hz and 25 m/s². Figure C.9 shows the relationships output peak power with various external load resistances under 25 m/s² acceleration at a 5 Hz frequency. The maximum peak output power was obtained when the internal load resistance was matched with the external load resistance. The maximum output peak power was 0,244 mW across the matched load resistance of 10 MΩ and the peak voltage was 49,49 V. The peak power can be calculated as V_{peak}^2/R_L , where, V_{peak} is the output peak voltage, and R_L is the load resistance.

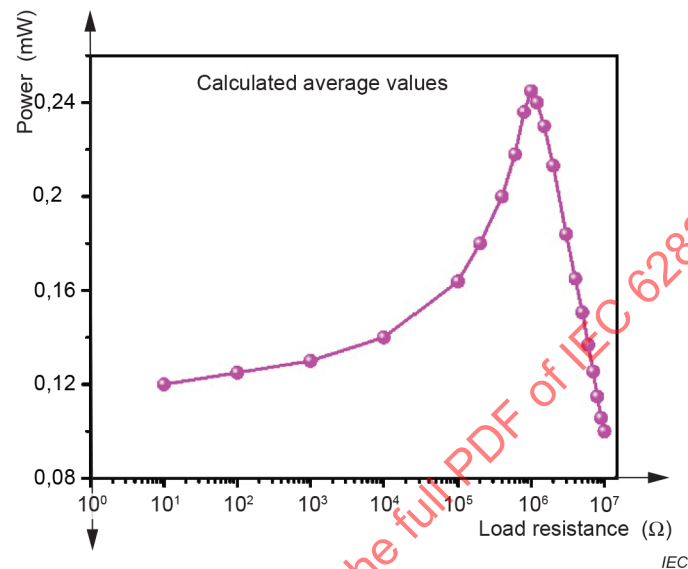


Figure C.9 – Output power characteristic at various external loads

Bibliography

IEC 60749-6, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 6: Storage at high temperature*

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*

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

IEC 62830-6, *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation – Part 6: Test and evaluation methods for vertical contact mode triboelectric energy harvesting devices*

IEC 63150-1, *Semiconductor devices – Measurement and evaluation methods of kinetic energy harvesting devices under practical vibration environment – Part 1: Arbitrary and random mechanical vibrations*

Simiao Niu et al., *Theory of Sliding-Mode Triboelectric Nanogenerators*, *Advanced Materials*, 25, pp. 6184-6193 (2013)

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-7:2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-7:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
1 Domaine d'application	36
2 Références normatives	36
3 Termes et définitions	36
3.1 Termes généraux	36
3.2 Transducteur triboélectrique	37
3.3 Paramètres des caractéristiques	37
4 Valeurs assignées essentielles et spécification vierge	40
4.1 Identification et type	40
4.2 Valeurs limites et conditions de fonctionnement	40
4.3 Informations supplémentaires	40
5 Méthode d'essai	41
5.1 Généralités	41
5.2 Caractéristiques électriques	42
5.2.1 Procédure d'essai	42
5.2.2 Tension en circuit ouvert	44
5.2.3 Courant de court-circuit	45
5.2.4 Tension de sortie	45
5.2.5 Courant de sortie	46
5.2.6 Puissance de sortie	46
5.2.7 Impédance de charge optimale	46
5.3 Caractéristiques mécaniques	47
5.3.1 Procédure d'essai	47
5.3.2 Zone de contact	48
5.3.3 Force de contact	49
5.3.4 Déplacement	50
5.3.5 Vitesse de coulissement	50
5.3.6 Plage de taux d'humidité relative	51
5.3.7 Plage de températures	51
6 Rapport d'essai	52
Annexe A (informative) Modes de coulissement linéaire	54
A.1 Coulissement diélectrique à diélectrique	54
A.2 Coulissement conducteur-à-diélectrique	54
Annexe B (informative) Exemple de montage expérimental	55
Annexe C (informative) Exemple de mesure pour un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire	56
C.1 Généralités	56
C.2 Récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire	56
C.2.1 Poids et dimensions du dispositif de récupération d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire soumis à essai	56
C.2.2 Type, fréquence, conditions d'accélération et de déplacement du récupérateur d'énergie	56
C.2.3 Conditions de mesure et résultats des mesures de la tension en circuit ouvert	57
C.2.4 Conditions de mesure et résultats des mesures du courant de court-circuit	57
C.2.5 Conditions de mesure et résultats des mesures à différentes accélérations	58

C.2.6	Conditions de mesure et résultats des mesures à différentes fréquences	59
C.2.7	Conditions de mesure et résultats des mesures à différents déplacements	59
C.2.8	Conditions de mesure et résultats des mesures de la tension et du courant de sortie à différentes charges	60
C.2.9	Conditions de mesure et résultats des mesures de la puissance de sortie	61
Bibliographie.....		62

Figure 1 – Schéma d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire	37
Figure 2 – Schéma de circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire.....	38
Figure 3 – Procédure de mesure pour un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement	42
Figure 4 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire.....	43
Figure 5 – Caractéristique de la tension de sortie instantanée en circuit ouvert	44
Figure 6 – Caractéristique du courant de sortie de court-circuit instantané.....	45
Figure 7 – Tension et courant de sortie à différentes charges	46
Figure 8 – Caractéristique de la puissance de sortie avec différentes charges externes.....	47
Figure 9 – Schéma de principe d'un montage d'essai destiné à évaluer la fiabilité	48
Figure 10 – Tension de sortie pour différentes surfaces de zone de contact.....	49
Figure 11 – Dépendance de la tension de sortie sur la force de contact.....	49
Figure 12 – Tension de sortie lors d'une variation du déplacement entre deux couches d'interface.....	50
Figure 13 – Tension de sortie pour différentes vitesses de coulissement	51
Figure 14 – Tension de sortie pour différents niveaux d'humidité relative.....	51
Figure 15 – Tension de sortie à différentes températures.....	52
Figure A.1 – Modes de fonctionnement d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire.....	54
Figure B.1 – Montage expérimental pour la mise à l'essai d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire	55
Figure C.1 – Photographies du récupérateur d'énergie triboélectrique	56
Figure C.2 – Forme d'onde de la tension de sortie instantanée en circuit ouvert	57
Figure C.3 – Forme d'onde du courant de sortie de court-circuit instantané	57
Figure C.4 – Forme d'onde de la tension à une fréquence de 5 Hz pour différentes accélérations	58
Figure C.5 – Caractéristique de la tension de sortie à différentes accélérations	59
Figure C.6 – Caractéristique de la tension de sortie à différentes fréquences	59
Figure C.7 – Tension de sortie lors d'une variation des déplacements entre deux couches d'interface à une fréquence de 5 Hz.....	60
Figure C.8 – Tension et courant de sortie à différentes charges.....	60
Figure C.9 – Caractéristique de la puissance de sortie avec différentes charges externes.....	61
Tableau 1 – Paramètres de spécification pour les récupérateurs d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire	40
Tableau C.1 – Conditions de mesure	56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR RÉCUPÉRATION ET GÉNÉRATION D'ÉNERGIE –

Partie 7: Récupération d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire

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 62830-7 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
47/2676/FDIS	47/2686/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.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62830, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et génération d'énergie*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le présent 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 62830-7:2021

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR RÉCUPÉRATION ET GÉNÉRATION D'ÉNERGIE –

Partie 7: Récupération d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62830 définit les termes, définitions, symboles, configurations et les méthodes d'essai pouvant être utilisés pour évaluer et déterminer les caractéristiques de performance des dispositifs de récupération d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire dans le contexte d'une utilisation pratique. Le présent document s'applique aux dispositifs de récupération d'énergie destinés au grand public, aux industries générales, aux applications militaires et aérospatiales, sans restriction concernant la technologie et la taille des dispositifs.

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 Termes généraux

3.1.1

coulissement linéaire

coulissement physique d'un matériau sur un autre matériau dans le sens horizontal

3.1.2

récupérateur d'énergie basée sur le coulissement

transducteur d'énergie qui transforme en énergie électrique l'énergie résultant d'un coulissement physique

Note 1 à l'article: Un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire destiné à convertir un coulissement linéaire en électricité comprend des matériaux diélectriques, une électrode de surface, une charge externe et un déplacement relatif entre des matériaux diélectriques comme représenté à la Figure 1. Le coulissement engendre un contact physique entre les deux surfaces de matériau diélectrique et le déplacement relatif écarte les deux matériaux. Les électrodes supérieure et inférieure sur les deux matériaux diélectriques récupèrent les charges générées par le couplage de la triboélectrification et l'induction électrostatique. Les charges triboélectriques sont générées par le transfert de la charge entre deux films organiques/non organiques fins présentant des affinités électroniques de surface distinctes, et la différence de potentiel vient de la séparation des charges triboélectriques; dans des conditions de court-circuit, les électrons sont entraînés pour s'écouler entre deux électrodes fixées à l'arrière des films au travers de la charge afin de compenser la différence de potentiel induite par l'action mécanique.

3.2 Transducteur triboélectrique

3.2.1

effet triboélectrique

type d'électrification par contact, par laquelle certains matériaux sont chargés électriquement à la suite d'un contact par friction avec un autre matériau

3.2.2

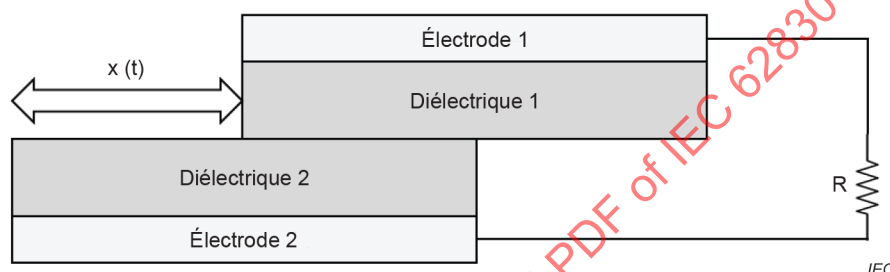
série triboélectrique

liste classant différents matériaux en fonction de leur faculté à gagner ou perdre des électrons

3.2.3

transducteur triboélectrique

convertisseur d'énergie produisant de l'électricité à partir d'énergie mécanique par effet triboélectrique



Légende

Structure du récupérateur d'énergie

$x(t)$ déplacement

R charge externe

Figure 1 – Schéma d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire

Note 1 à l'article: Un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire peut être divisé en différentes parties comme représenté à la Figure 1. Le circuit équivalent est constitué d'une capacité C qui emmagasine des charges comme $+Q$ et $-Q$, d'une source de tension en circuit ouvert V_{oc} et d'une charge externe R . En prenant en compte les matériaux à utiliser pour la paire de couches triboélectriques, le nanogénérateur triboélectrique (TENG, TriboElectric NanoGenerator) en mode de coulissement possède deux types: diélectrique-à-diélectrique et conducteur-à-diélectrique. Les éléments de base sur ces deux types sont communiqués dans l'Annexe A.

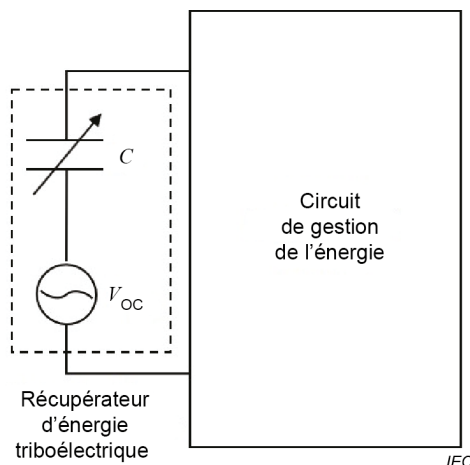
3.3 Paramètres des caractéristiques

3.3.1

circuit équivalent

schéma de principe d'un circuit électrique ayant la même tension de sortie depuis le récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire basé sur un déplacement relatif dans le voisinage immédiat de la force d'actionnement

Note 1 à l'article: Un schéma de circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire est représenté à la Figure 2.



Légende des paramètres

C capacité

V_{oc} tension en circuit ouvert

Figure 2 – Schéma de circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire

3.3.2

relation V - Q - x

relation entre la tension de sortie triboélectrique, la quantité de charges transférée entre les électrodes et la distance séparant les surfaces des matériaux tribologiques

Note 1 à l'article: Compte tenu du principe de superposition des potentiels électriques, la différence de tension totale entre les deux électrodes peut être obtenue d'après la Formule (1):

$$V = -\frac{l}{C}Q + V_{oc} = -\frac{d_0}{w\epsilon_0(l-x)}Q + \frac{\sigma d_0 x}{\epsilon_0(l-x)} \quad (1)$$

où d_0 est l'épaisseur diélectrique efficace, w est la largeur diélectrique, ϵ_0 est la permittivité du milieu, σ est la densité de charge en surface, l est la longueur du matériau diélectrique, x est la distance de séparation latérale et les autres paramètres sont tels que définis plus haut.

3.3.3

tension en circuit ouvert

V_{oc}

différence de potentiel électrique par rapport à un nœud de référence d'un récupérateur d'énergie lorsqu'aucune charge externe n'est raccordée à la borne du récupérateur d'énergie

Note 1 à l'article: L'expression théorique de V_{oc} pour un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire est donnée par la Formule (2):

$$V_{oc} = \frac{\sigma x}{\epsilon_0(l-x)} \left(\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}} \right) \quad (2)$$

où d_1 et d_2 correspondent à l'épaisseur diélectrique, ϵ_{r1} et ϵ_{r2} correspondent respectivement à la permittivité des matériaux diélectriques 1 et 2, et les autres paramètres sont tels que définis plus haut.

3.3.4

courant de court-circuit

I_{sc}

courant mesuré aux bornes du récupérateur d'énergie en réponse à une excitation induite sans charge externe

Note 1 à l'article: L'expression théorique de I_{sc} pour le TENG en mode de coulissement linéaire est donnée par la Formule (3) **Error! Bookmark not defined.**:

$$I_{sc} = \sigma w \frac{dx}{dt} = \sigma w v(t) \quad (3)$$

où w est l'épaisseur du matériau diélectrique, $v(t)$ est la vitesse de coulissement de la couche triboélectrique, et les autres paramètres sont tels que définis plus haut.

3.3.5

tension de sortie

V

différence de potentiel électrique par rapport à un nœud de référence d'un récupérateur d'énergie lorsqu'une charge externe est raccordée à la borne du récupérateur d'énergie

3.3.6

courant de sortie

I

<dispositif de récupération d'énergie> courant traversant la charge externe raccordée aux bornes d'un récupérateur d'énergie

3.3.7

puissance de sortie

P

puissance électrique transférée à la charge externe raccordée aux bornes d'un récupérateur d'énergie

Note 1 à l'article: L'expression théorique pour la puissance de sortie d'un TENG en mode de coulissement linéaire est donnée par la Formule (4):

$$P = VI \quad (4)$$

3.3.8

impédance de charge optimale

R_{opt}

valeur spécifiée de la charge externe pour transférer la plus grande quantité d'énergie électrique depuis le récupérateur d'énergie

3.3.9

zone de contact

zone de contact physique entre deux objets

Note 1 à l'article: Lorsque deux objets se touchent, une partie de leur surface touche l'autre objet. La zone de contact est la fraction de cette zone comprenant les atomes d'un objet en contact avec ceux de l'autre objet. Etant donné que les objets ne sont jamais parfaitement plats en raison des aspérités, la zone de contact réelle (à l'échelle microscopique) est habituellement beaucoup plus petite que la zone de contact apparente à l'échelle macroscopique. La zone de contact peut dépendre de la force normale entre les deux objets en raison de la déformation.

3.3.10

force de contact

force appliquée dans le sens normal à la surface en raison de la friction au niveau de l'interface des deux surfaces de matériaux triboélectriques

3.3.11

déplacement

x

distance de déplacement d'un matériau depuis sa position d'origine

3.3.12**vitesse de coulissement** v

déplacement par unité de temps d'un matériau sur la surface d'un autre matériau tout en maintenant un contact continu

3.3.13**plage de taux d'humidité relative**

plage des taux d'humidité mesurés sur l'enveloppe au sein de laquelle le récupérateur d'énergie ne subit pas de détérioration permanente même s'il ne fonctionne pas nécessairement dans certaines tolérances

3.3.14**plage de températures**

plage des températures mesurées sur l'enveloppe au sein de laquelle le récupérateur d'énergie ne subit pas de détérioration permanente même s'il ne fonctionne pas nécessairement dans les tolérances spécifiées

4 Valeurs assignées essentielles et spécification vierge**4.1 Identification et type**

Le récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire doit être marqué de façon claire et durable, le marquage suivant l'ordre indiqué ci-dessous:

- a) l'année et la semaine (ou le mois) de fabrication;
- b) le nom du fabricant ou marque de fabrique;
- c) l'identification des bornes (facultative);
- d) le numéro de série;
- e) 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 le cycle de fonctionnement maximal assurant le fonctionnement du récupérateur d'énergie en mode de coulissement linéaire pour la génération d'énergie sans aucun dommage.

Tableau 1 – Paramètres de spécification pour les récupérateurs d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire

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

4.3 Informations supplémentaires

Il convient de fournir certaines informations supplémentaires, telles que les circuits équivalents (déplacement relatif, impédance interne, tension, courant et puissance de sortie, etc.), les précautions de manipulation, les informations physiques (dimensions d'encombrement, bornes, etc.), les accessoires, le guide d'installation, les informations sur le boîtier, l'interface de carte à circuit imprimé et les informations de montage.

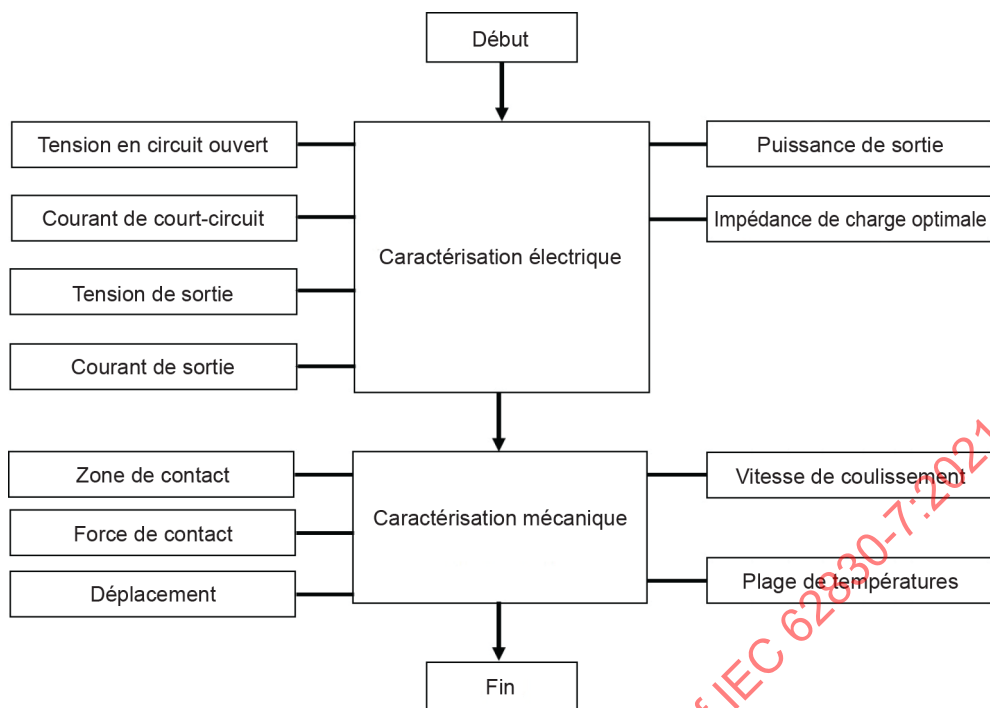
5 Méthode d'essai

5.1 Généralités

En principe, les procédures d'essai générales pour un récupérateur d'énergie basé sur le coulisement linéaire sont appliquées comme représenté à la Figure 3. Une fois le récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulisement linéaire fixé sur un montage d'essai, celui-ci est mesuré à l'aide d'un oscilloscope/électromètre et d'un transformateur différentiel à variation linéaire (LVDT, Linear Variable Differential Transformer). Pour la mesure exacte et la caractérisation précise de ces dispositifs, il convient d'utiliser des appareils de mesure à très haute impédance. Avant de relier le récupérateur d'énergie triboélectrique au montage d'essai, les appareils de mesure doivent être étalonnés. Après l'étalonnage, brancher un câble d'essai sur le montage d'essai du récupérateur d'énergie fixé sur un actionneur ou un dynamomètre. La valeur lue de tension de sortie ou de courant de sortie affichée sur les appareils de mesure est soigneusement relevée, de même que le déplacement linéaire induit mesuré par le LVDT.

Après le montage du récupérateur d'énergie sur un actionneur, les caractéristiques électriques sont mesurées à l'aide d'un appareil de mesure ou d'un équipement équivalent. Si les mesures des caractéristiques électriques sont satisfaisantes, l'essai de fiabilité est réalisé sur la plage de taux d'humidité relative avec des cycles de température et différentes excitations.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-7:2021



IEC

Légende			
Procédure	Paragraphe de référence	Procédure	Paragraphe de référence
Début			
Caractérisation électrique		Caractérisation mécanique	
Tension en circuit ouvert	3.3.3 et 5.2.2	Zone de contact	3.3.9 et 5.3.2
Courant de court-circuit	3.3.4 et 5.2.3	Force de contact	3.3.10 et 5.3.3
Tension de sortie	3.3.5 et 5.2.4	Déplacement	3.3.11 et 5.3.4
Courant de sortie	3.3.6 et 5.2.5	Vitesse de coulissement	3.3.12 et 5.3.5
Puissance de sortie	3.3.7 et 5.2.6	Plage de taux d'humidité relative	3.3.13 et 5.3.6
Impédance de charge optimale	3.3.8 et 5.2.7	Plage de températures	3.3.14 et 5.3.7

Figure 3 – Procédure de mesure pour un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement

5.2 Caractéristiques électriques

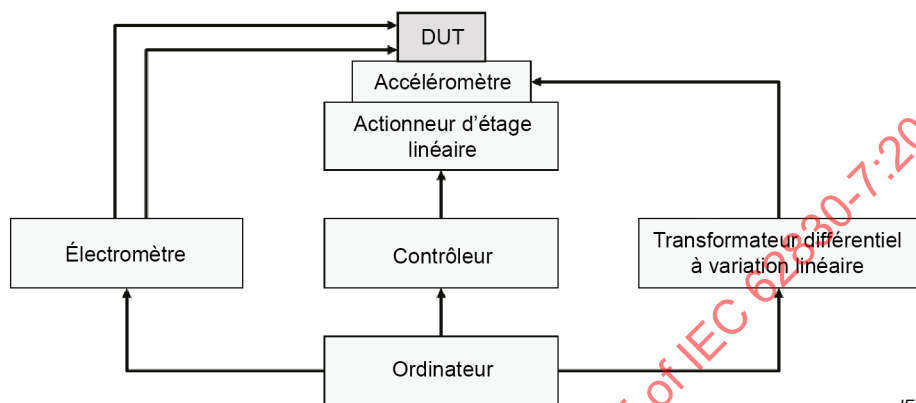
5.2.1 Procédure d'essai

La Figure 4 représente un montage d'essai pour la mesure des caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire. Pour mesurer les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie, le dispositif doit être monté sur un actionneur d'étage linéaire, comme représenté à la Figure 4. Lorsqu'un déplacement linéaire est appliqué au dispositif, une tension ou un courant de sortie est mesuré au travers d'une charge externe. La valeur crête à crête, la valeur efficace et les informations sur la fréquence pour la forme d'onde de sortie instantanée du récupérateur peuvent être obtenues avec l'équipement de mesure.

Une description de deux différents modes de coulissement linéaire est donnée à l'Annexe A. Un exemple de montage expérimental est décrit à l'Annexe B. Un exemple de mesure pour un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire est décrit à l'Annexe C.

La procédure d'essai suivante est utilisée:

- 1) un coulisement relatif spécifique est induit sur le récupérateur d'énergie;
- 2) la tension ou le courant passant au travers de la charge externe branchée aux bornes du récupérateur d'énergie est mesuré à l'aide d'un voltmètre ou d'un ampèremètre;
- 3) la tension et le courant sont mesurés avec différentes excitations en réglant les paramètres par l'intermédiaire d'un ordinateur;
- 4) la tension maximale et le courant maximal sont obtenus à partir des différentes charges externes pour trouver la charge optimale.



IEC

Légende

Excitateur d'entrée et appareils de mesure pour la surveillance

DUT: dispositif soumis à essai	récupérateur d'énergie
Electromètre	pour détecter la tension, le courant, la valeur du transfert de charge et la résistance
Ordinateur	pour sélectionner l'excitation d'entrée et obtenir des points de mesure
Accéléromètre	pour mesurer l'excitation d'entrée
Actionneur d'étage linéaire	pour appliquer un mouvement linéaire comme entrée dans le récupérateur d'énergie
Contrôleur	pour contrôler l'actionneur d'étage linéaire
Transformateur différentiel à variation linéaire	pour mesurer le déplacement entre les couches du dispositif de récupération d'énergie

Figure 4 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulisement linéaire

5.2.2 Tension en circuit ouvert

L'objectif de cet essai est d'évaluer la tension de sortie instantanée entre les bornes du récupérateur d'énergie sans charge externe. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Lors de la mesure de la tension en circuit ouvert, l'impédance d'entrée du voltmètre doit être consignée. La Figure 5 représente des profils de tension de sortie instantanée en circuit ouvert de crête à crête en fonction du temps. Pendant la mesure de la tension, l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure doit être plusieurs dizaines de fois supérieure à l'impédance de la source de tension. Par exemple, si l'impédance d'entrée de l'appareil de mesure est de seulement 1 G Ω (typique pour les multimètres numériques (DMM, Digital MultiMeter), et que la source de la tension a une impédance de 10 M Ω , l'appareil de mesure introduit une erreur de 1 % en raison de l'impédance d'entrée relativement basse. À l'inverse, un électromètre avec une impédance d'entrée de 10¹⁴ Ω engendrera une erreur de seulement 0,000 01 %. Par conséquent, une impédance d'entrée de 10¹⁴ Ω est recommandée pour les mesures électriques. De plus, des capacités parasites dans le système engendrent facilement une longue constante de temps de charge-décharge. Par exemple, si la capacité est de seulement 10 pF, une résistance d'essai de 1 T Ω engendre une constante de temps de 10 s. Par conséquent, une durée d'établissement de 50 s sera exigée pour que la lecture se stabilise à 1 % de la valeur finale. Pour réduire le plus possible les durées d'établissement lors des mesures de valeurs à haute résistance, la capacité parallèle dans le système doit être réduite au minimum en utilisant les câbles de raccordement les plus courts possible. L'effet de la fuite de tension et de la capacité parasite peut être diminué davantage en blindant les câbles et en protégeant le dispositif de mesure. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser un câble triax, à faible bruit et blindé (modèle 237-ALG-2 ¹) avec le mode de protection activé sur l'Electromètre 6514 ² pour effectuer les mesures électriques.

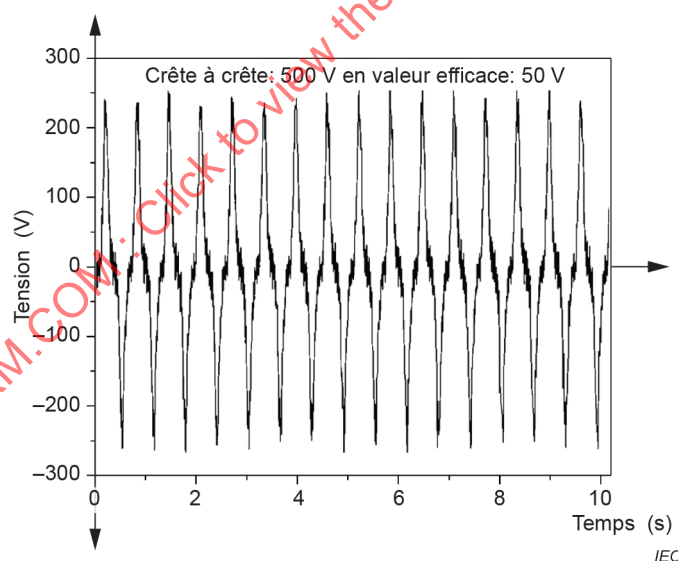


Figure 5 – Caractéristique de la tension de sortie instantanée en circuit ouvert

¹ 237-ALG-2 est l'appellation commerciale d'un produit distribué par Keithley Instruments Inc. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

² Electromètre 6514 est l'appellation commerciale d'un produit distribué par Keithley Instruments Inc. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

5.2.3 Courant de court-circuit

L'objectif de cet essai est d'évaluer le courant de sortie instantané mesuré entre les bornes du récupérateur d'énergie en réponse à une excitation induite sans charge externe. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Les profils de courant instantané de court-circuit de crête à crête du récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire sont représentés à la Figure 6. Lors de la mesure du courant de court-circuit, l'impédance d'entrée de l'ampèremètre doit être consignée. La minimisation de la charge de tension assure une exactitude maximale pour la mesure du courant. Les picoampèremètres, les unités de source et mesure et les électromètres utilisent tous la technologie du circuit d'ampèremètre à rétroaction (impédance interne quasi nulle), qui minimise la charge de tension, en la maintenant à quelques centaines de microvolts. Par comparaison, un multimètre numérique, qui utilise une technique de résistance de shunt pour mesurer le courant, peut avoir des charges de tension de plusieurs dizaines de volts. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser un Electromètre 6514 pour la mesure précise d'un courant faible. Il est également important que l'instrument de mesure du courant ait un courant de polarisation faible, car tout courant sortant de l'entrée de l'instrument est forcé dans la source. Les électromètres utilisent une annulation active pour réduire le courant de polarisation au niveau du femtoampère. Un courant de polarisation aussi faible que < 3 fA est recommandé pour l'instrument de mesure précise des courants faibles.

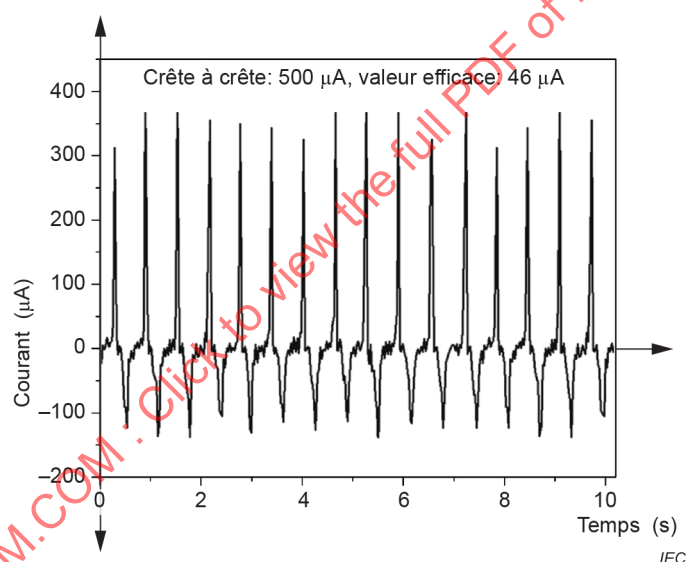


Figure 6 – Caractéristique du courant de sortie de court-circuit instantané

5.2.4 Tension de sortie

L'objectif de cet essai est d'évaluer la tension de sortie du récupérateur d'énergie en présence de résistances de charge externe. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. La Figure 7 représente le tracé d'une tension de sortie mesurée (axe Y à droite) en fonction de la charge de résistance externe raccordée aux bornes de sortie électrique du récupérateur d'énergie.

5.2.5 Courant de sortie

L'objectif de cet essai est d'évaluer le courant de sortie du récupérateur d'énergie en présence de résistances de charge externe. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. La Figure 7 montre également le tracé du courant de sortie mesuré (Y à gauche) en fonction de la charge de résistance externe raccordée aux bornes de sortie électrique du récupérateur d'énergie.

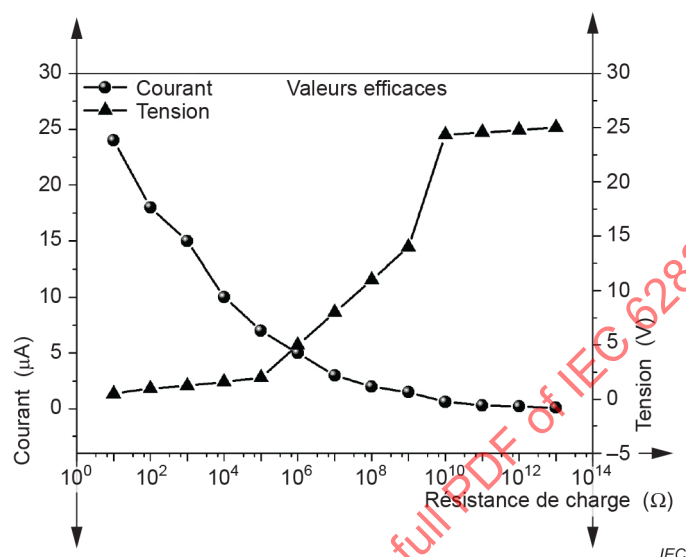


Figure 7 – Tension et courant de sortie à différentes charges

5.2.6 Puissance de sortie

L'objectif de cet essai est d'évaluer la puissance de sortie à partir de la valeur de multiplication de la tension et du courant de sortie mesurés du récupérateur d'énergie avec une charge externe. La puissance moyenne est calculée à l'aide de la Formule (4). La Figure 8 représente la forme graphique de la puissance de sortie moyenne calculée en fonction de la charge externe du récupérateur d'énergie. La puissance moyenne maximale est 25 µW.

5.2.7 Impédance de charge optimale

L'objectif de cet essai est d'évaluer l'impédance de charge optimale, qui est déterminée comme étant la valeur de la charge externe lorsque la puissance de sortie du récupérateur d'énergie atteint sa valeur maximale. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Comme représenté à la Figure 8, l'impédance de charge adaptée/optimale est de 1 MΩ.

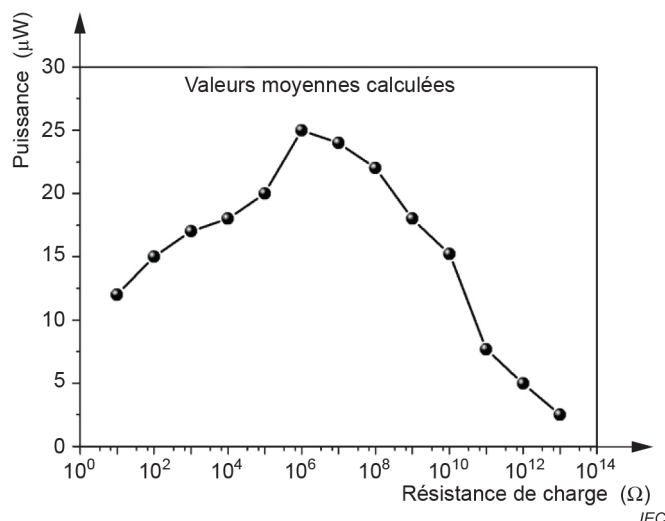


Figure 8 – Caractéristique de la puissance de sortie avec différentes charges externes

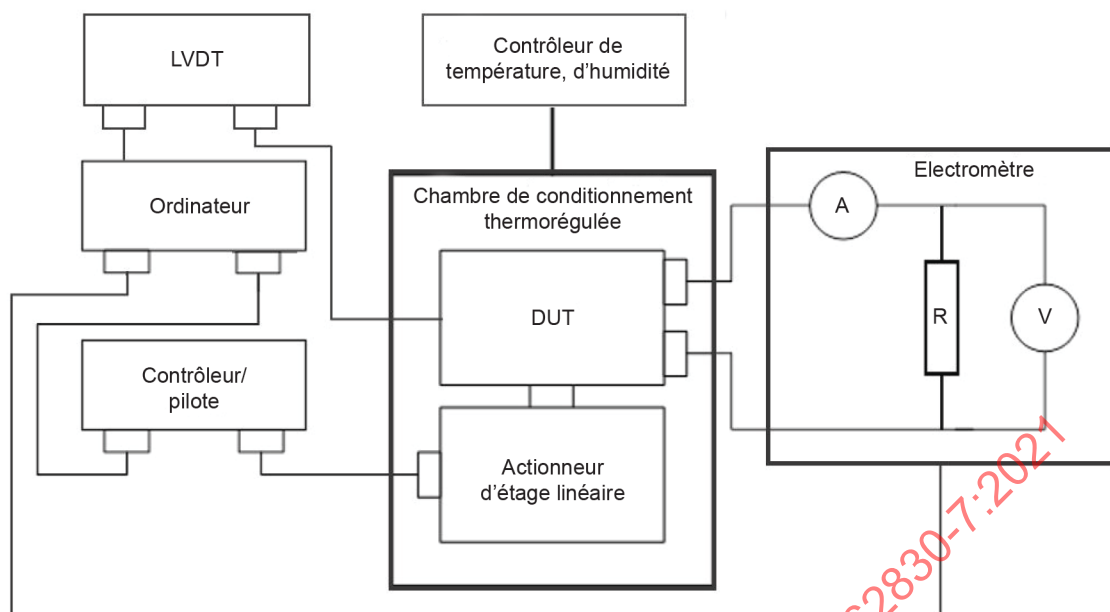
5.3 Caractéristiques mécaniques

5.3.1 Procédure d'essai

La Figure 9 représente un montage d'essai pour évaluer la fiabilité d'un récupérateur d'énergie triboélectrique en mode de coulissement linéaire. Lorsqu'un coulissement relatif est appliqué entre deux couches triboélectriques du dispositif, la tension ou le courant de sortie est mesuré au travers d'une charge externe reliée au dispositif.

La procédure d'essai suivante est appliquée pour l'essai de fiabilité:

- 1) un coulissement externe est induit sur le récupérateur d'énergie;
- 2) la tension ou le courant de sortie du récupérateur d'énergie est mesuré par l'appareil de mesure.



IEC

Légende

Composant et appareils de mesure pour la surveillance

DUT: dispositif soumis à essai	recupérateur d'énergie
Voltmètre (V)	pour détecter une tension au travers de la charge externe
Ampèremètre (A)	pour détecter une intensité au travers de la charge externe

Equipement et matériel

Actionneur d'étage linéaire	pour fournir une vitesse/force spécifiée
Ordinateur	pour contrôler les paramètres d'entrée du moteur linéaire, du dynamomètre et de l'électromètre
Contrôleur	pour contrôler l'actionneur d'étage linéaire
LVDT	transformateur différentiel à variation linéaire pour mesurer le déplacement
Contrôleur de température, d'humidité	pour conserver une valeur de température et d'humidité spécifiée d'un DUT

Figure 9 – Schéma de principe d'un montage d'essai destiné à évaluer la fiabilité

5.3.2 Zone de contact

L'objectif de cet essai est d'évaluer la relation entre les performances de sortie électriques et la zone des surfaces triboélectriques. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 1 cm/2 cm/4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Les profils de tension de sortie mesurés pour les différentes zones des surfaces triboélectriques sont représentés à la Figure 10. Il apparaît clairement qu'une augmentation de la zone de contact accroît les performances du récupérateur d'énergie.

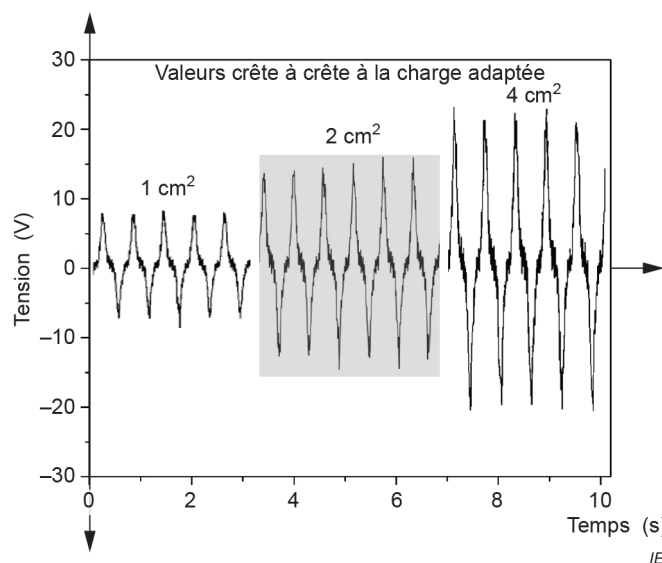


Figure 10 – Tension de sortie pour différentes surfaces de zone de contact

5.3.3 Force de contact

L'objectif de cet essai est d'évaluer les performances du dispositif lors d'une variation de la force de contact au niveau de l'interface des deux couches de matériaux triboélectriques. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 5 N/10 N/20 N, 60 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Une plus grande force de contact augmente la densité de charge triboélectrique et accroît donc les performances à la sortie du dispositif. La dépendance de la tension de sortie sur la force de contact est représentée à la Figure 11.

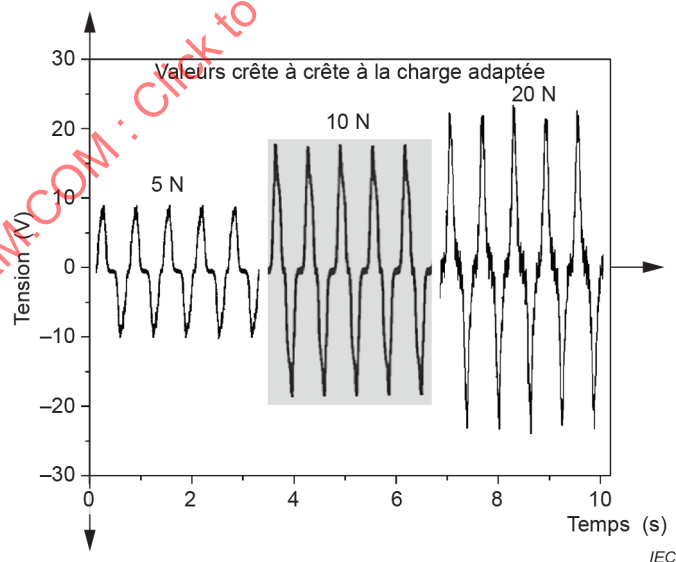


Figure 11 – Dépendance de la tension de sortie sur la force de contact

5.3.4 Déplacement

L'objectif de cet essai est d'évaluer les performances du dispositif lors d'une variation du déplacement entre deux couches. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 60 mm/s, 0 cm à 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Une augmentation du déplacement entre deux couches triboélectriques accroît la différence de potentiel et augmente donc la tension de sortie, comme représenté à la Figure 12.

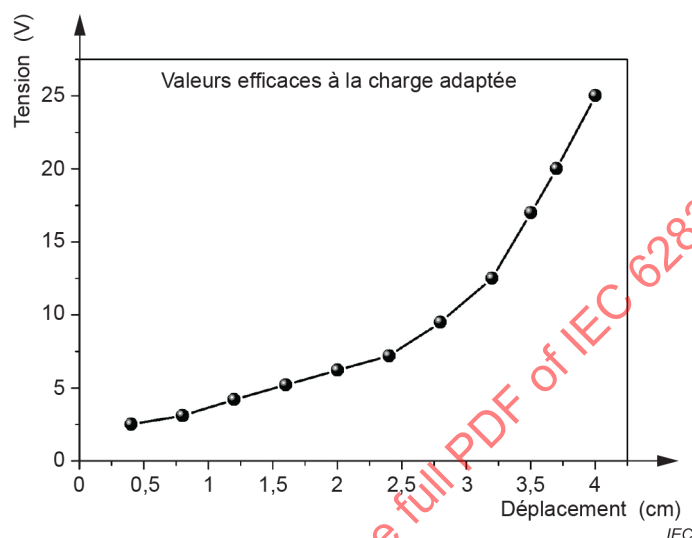


Figure 12 – Tension de sortie lors d'une variation du déplacement entre deux couches d'interface

5.3.5 Vitesse de coulissement

L'objectif de cet essai est d'évaluer les performances de sortie du dispositif à différentes vitesses de coulissement entre deux couches. La fréquence d'entrée, la force de contact, la vitesse de coulissement, le déplacement, la zone de contact et la forme d'onde d'entrée pour cette mesure sont respectivement 1,6 Hz, 20 N, 0 mm/s à 100 mm/s, 4 cm, 4 mm² et une onde sinusoïdale. Une augmentation de la vitesse de coulissement entre deux couches triboélectriques accroît la différence de potentiel et augmente donc la tension de sortie, comme représenté à la Figure 13.