

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –

Part 5: Test method for measuring generated power from flexible thermoelectric devices

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

Partie 5: Méthode d'essai pour la mesure de la puissance générée par des dispositifs thermoélectriques souples



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 5: Test method for measuring generated power from flexible thermoelectric devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour
récupération et production d'énergie –
Partie 5: Méthode d'essai pour la mesure de la puissance générée par des
dispositifs thermoélectriques souples**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-9285-3

**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	3
1 Scope	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Testing method	6
4.1 General experimental apparatus	6
4.2 Application to flexible thermoelectric devices	8
4.3 Report of results	11
Annex A (informative) Example of experimental set-up and data for performance of thermoelectric device	12
A.1 Schematic experimental set-up for measuring generated power in a thermoelectric device under the bending condition	12
A.2 Experimental set-up for measuring contact pressure between a device and the cold or hot side	13
A.3 Example of experimentally measured data under different conditions	14
Bibliography	16
Figure 1 – General measurement apparatus for generated power in thermoelectric device	7
Figure 2 – Experimental apparatus for generated power in flexible thermoelectric device	9
Figure 3 – Experimental apparatus for different bending radiuses of curvature	10
Figure A.1 – Example of experimental schematic diagram and set-up for measuring the performance parameters of a flexible thermoelectric device under the bending condition	13
Figure A.2 – Example of experimental set-up for measuring generated electric power	14
Figure A.3 – Example of experimental data for generated power from a flexible thermoelectric device under different conditions	15
Table 1 – Relation between the bending radius of curvature and typical parts of the human body	10
Table 2 – Required parameters to be included in the test report	11
Table 3 – Experimentally determined parameters for thermoelectric device	11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY
HARVESTING AND GENERATION –****Part 5: Test method for measuring generated power
from flexible thermoelectric devices**

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 63830-5 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
47/2668/FDIS	47/2678/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 publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-5:2021

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –

Part 5: Test method for measuring generated power from flexible thermoelectric devices

1 Scope

This part of IEC 62830 specifies the test method for measuring generated electric power from flexible thermoelectric devices under bending conditions. This document provides terms, definitions, symbols, configurations, and test methods that can be used to evaluate and determine the performance of flexible thermoelectric devices. This document also describes the test conditions such as temperature, temperature difference, contact conditions, insulation and bending radius of flexible thermoelectric devices. This document is applicable to flexible energy harvesting devices for flexible semiconductor devices.

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

thermoelectric generator

device that converts heat (temperature difference) directly into electrical energy, using a phenomenon called the Seebeck effect

3.2

bending radius

minimum radius, measured to the inside curvature, of a pipe, tube, sheet, cable or hose that can be bent without kinking damaging it or shortening its life

3.3

Seebeck coefficient

S

magnitude of an induced thermoelectric voltage in response to a temperature difference across a material, and the entropy per charge carrier in the material

[SOURCE: IEC 62830-2:2017, 3.1]

3.4 thermal conductivity

k_c
at a point fixed in a medium with a temperature field, scalar quantity k_c characterizing the ability of the medium to transmit heat through a surface element containing that point: $\varphi = -k_c \text{ grad } T$, where φ is the density of heat flow rate and T is thermodynamic temperature

Note 1 to entry: It appears primarily in Fourier's Law for heat conduction. This value is dependent on temperature. Thermal resistivity is given by the reciprocal of thermal conductivity.

[SOURCE: IEC 60050-113:2011, 113-04-38, modified – the scalar quantity has been changed to k_c and the notes have been replaced by Note 1.]

3.5 temperature difference

T_{h-c}
difference between the cooling and heating sides

3.6 heat input

Q_{hot}
measured (or calculated) input thermal energy to the thermoelectric device

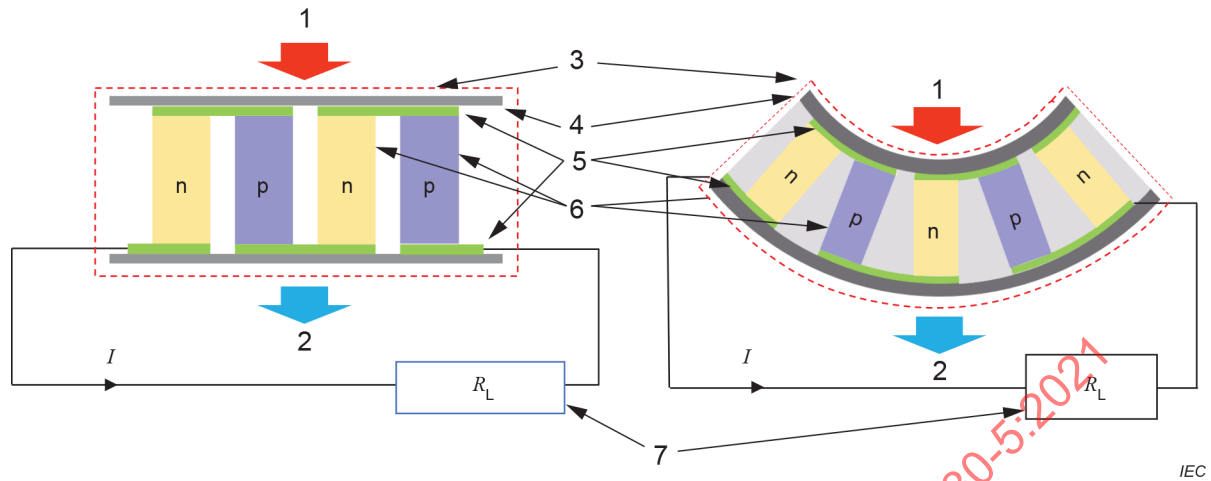
3.7 dissipated heat

Q_{cold}
measured (or calculated) dissipated thermal energy from the thermoelectric device

4 Testing method

4.1 General experimental apparatus

The general principle for the test set-up to measure the amount of power generation from thermoelectric devices, especially focusing on flexible thermoelectric devices, is described. In general, the thermoelectric device generates electric energy due to the temperature difference between one surface of the device and the other surface. Hence, in order to characterize the performance of the device, the temperature of both the cooling and heating sides in an experimental set-up should be maintained consistently. The general schematic diagram of the thermoelectric device, including the experimental set-up to measure the generated power, is illustrated in Figure 1. An explanation about the commonly used formulas related to the thermoelectric device and the experimental set-up is also included. The basic principle of the measurement method for both rigid and flexible devices is the same but the experimental apparatus can be different due to the flexibility of the flexible thermoelectric device. In order to use the advantage of a flexible thermoelectric device as well as to investigate its limitations, the performance of the flexible thermoelectric device should be determined under the bending condition.

**Key**

- 1 Heating side (Q_{hot})
- 2 Cooling side (Q_{cold})
- 3 Thermoelectric device for power generation
- 4 Insulator
- 5 Electrodes
- 6 Thermoelectric materials (n: n-type semiconductor, p: p-type semiconductor)
- 7 Load

Figure 1 – General measurement apparatus for generated power in thermoelectric device

As shown in Figure 1, when a temperature differential is applied across the faces of the thermoelectric device, it is possible to generate electrical power in the device. With no load, the open circuit voltage as measured between two surfaces is

$$V = S \times T_{\text{h-c}} \quad (1)$$

where

V is the output voltage from the thermoelectric generator, in V;

S is the average Seebeck coefficient, in V/K;

$T_{\text{h-c}}$ is the temperature difference across the thermoelectric generator, in K,

where $T_{\text{h-c}} = T_{\text{h}} - T_{\text{c}}$:

T_{h} is the surface temperature of the hot side for the generator, in K;

T_{c} is the surface temperature of the cold side for generator, in K.

When a load is connected to the thermoelectric generator, the output voltage (V) drops as a result of the internal generator resistance. The current through the load is

$$I = \frac{S \times T_{\text{h-c}}}{R_{\text{c}} + R_{\text{L}}} \quad (2)$$

where

I is the thermoelectric generator output current, in A;

R_c is the average internal resistance of the thermoelectric device, in Ω ;

R_L is the load resistance in Ω .

The total generated power in the device (P_g) is simply

$$P_g = I \times V \quad (3)$$

The total heat input to the thermoelectric generator (Q_{hot}) is

$$Q_{hot} = (S \times T_h \times I) - (0,5 \times I^2 R_c) + (K \times T_{h-c}) \quad (4)$$

where

Q_{hot} is the heat input, in W;

K is the thermal conductance of the generator, in W/K.

The efficiency of the generator is

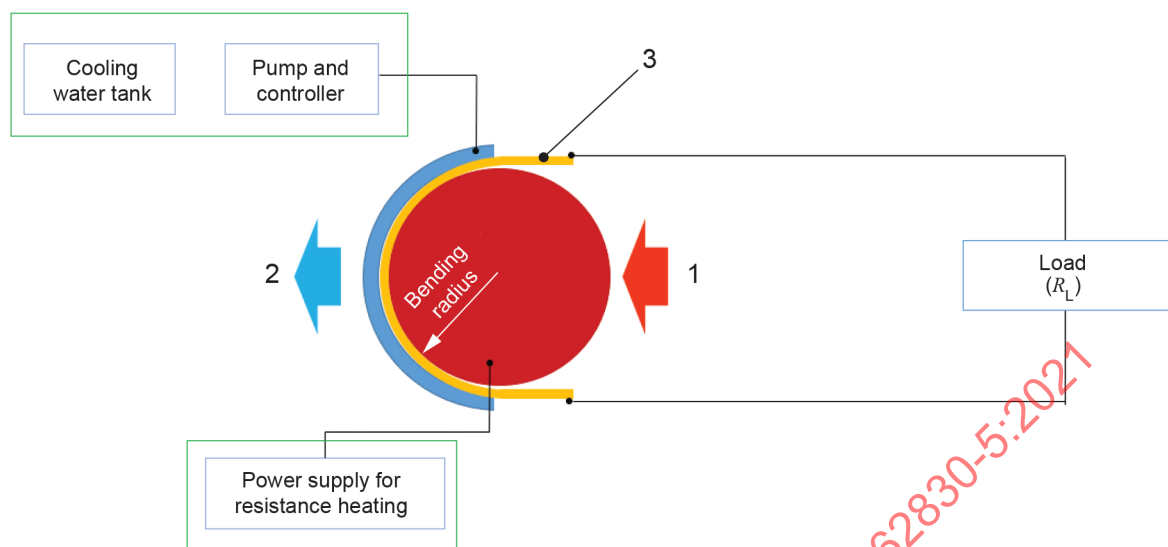
$$\eta = \frac{P_g}{Q_{hot}} \quad (5)$$

where

η is the efficiency of the thermoelectric generator.

4.2 Application to flexible thermoelectric devices

Subclause 4.2 gives the detailed experimental apparatus for measuring the generated power in a thermoelectric device. It focuses on the detailed experimental apparatus for measuring the generated power from flexible thermoelectric devices under the bending condition. In the case of flexible thermoelectric devices, the main focus for the measurement is the generated power under the bending condition. For this purpose, an experimental apparatus to determine the generated power is illustrated in Figure 2 as an example. As shown in Figure 2, an experimental apparatus enabling power measurement under the bending condition should be used in the case of a flexible device. For the cooling side, cooling water, a pump, and controller are used to maintain the temperature which is set to the cooling side. Electrical heating with resistance is used to maintain the temperature of the heating side. However, the method for cooling and heating can be employed according to the sample size and temperature range.



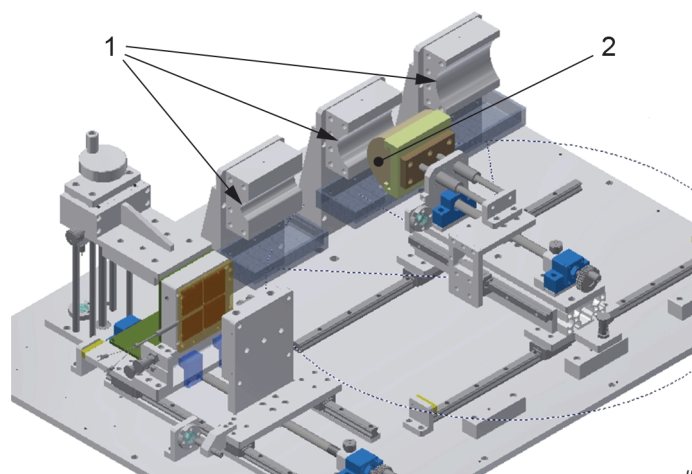
IEC

Key

- 1 Heating side (Q_{hot})
- 2 Cooling side (Q_{cold})
- 3 Flexible thermoelectric device for power generation

Figure 2 – Experimental apparatus for generated power in flexible thermoelectric device

In the case of a flexible thermoelectric device, the performance, including efficiency, can change according to the bending radius of curvature. Hence, different bending radii of curvature can be suggested according to the applications as shown in Figure 3. A detailed schematic diagram for experimental set-up is described in Clause A.1. For example, in the case of flexible thermoelectric devices generating power from the temperature difference between the human body and environmental conditions, different bending radii according to the part of the human body can be summarized in Table 1 as an example.



Key

1. Different radiuses of curvature (cooling side, 30 mm, 60 mm, 90 mm)
2. Cylinder with different radiuses of curvature can be replaced (heating side)

Figure 3 – Experimental apparatus for different bending radiuses of curvature

Table 1 – Relation between the bending radius of curvature and typical parts of the human body

Parts of human body	Thumb	Wrist	Lower arm	Upper arm	Hand
Bending radius of curvature (mm)	9	28	40	50	It depends but it can be very large

Also, the amount of generated power from flexible thermoelectric devices can be different according to the temperature, temperature difference, and contact conditions. This is due to the fact that there should be a discrepancy in the temperature between the surface of the cooling or heating side and the surface of the device. This discrepancy is dependent on the contact conditions. The contact conditions between the surface of the device and the surface of the cooling or heating side can be characterized by measuring the contact pressure in the case of a rigid type thermoelectric device. In contrast, in the case of a flexible device, the contact pressure can vary greatly depending on the package type or material of the flexible thermoelectric device. Hence, it is strongly recommended that the description of the package type, structure, dimension of the device including the distance between the cooling and heating side, be included in the report. A detailed experimental set-up for measuring contact pressure is described in Clause A.2 as an example. Table 2 summarizes those parameters and Table 3 shows the performance parameters of the thermoelectric device including the conditions of the experimental set-up. In addition, an example of experimentally determined generated power under different conditions is presented in Clause A.3.

Table 2 – Required parameters to be included in the test report

Parameters	Explanations
Temperature sensing	– Location of temperature sensing part for both hot and cold sides – Types of temperature sensor
Insulation	– Schematic to provide the information about the degree of insulation level
Thermal interface material	– Application of thermal interface material between device and hot and cold sides – Types of thermal interface material
Bending radius of curvature	– Schematic to provide the information on how the bend test is performed
Distance between heating and cooling sides (or contact pressure)	– Information to provide on how the device is pressed down from heating and cooling sides – The length of both sides shall be measured through a radial direction. – Contact pressure can be determined by dividing the applied force by the device area

Both the thickness of the sample and the distance between the heating and cooling sides are important parameters. In general, the generated power is dependent on the contact pressure between the sample and the heating or cooling side. However, unlike a flat type thermoelectric device whose surface is rigid, the surface of the flexible thermoelectric device is easily deformed by the contact pressure. Therefore, in the case of a flexible thermoelectric device, it is better to report the distance between the hot and cold sides instead of the contact pressure, including the description of the package structure of the flexible device.

Table 3 – Experimentally determined parameters for thermoelectric device

Electrical parameters			Heating	Temperature		Efficiency
R_{load}	V_{load}	I_{load}	Q_{hot}	T_c	T_h	P_g/Q_{hot}

4.3 Report of results

The report shall include the following items:

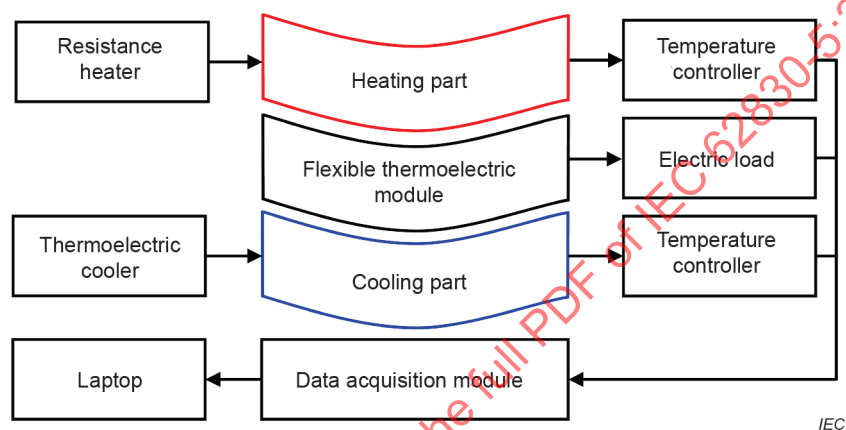
- date of test;
- atmospheric conditions during the test;
- detailed information about the sample (structure, dimension, materials, and types of package);
- test apparatus (Table 2);
- experimentally determined parameters (Table 3).

Annex A (informative)

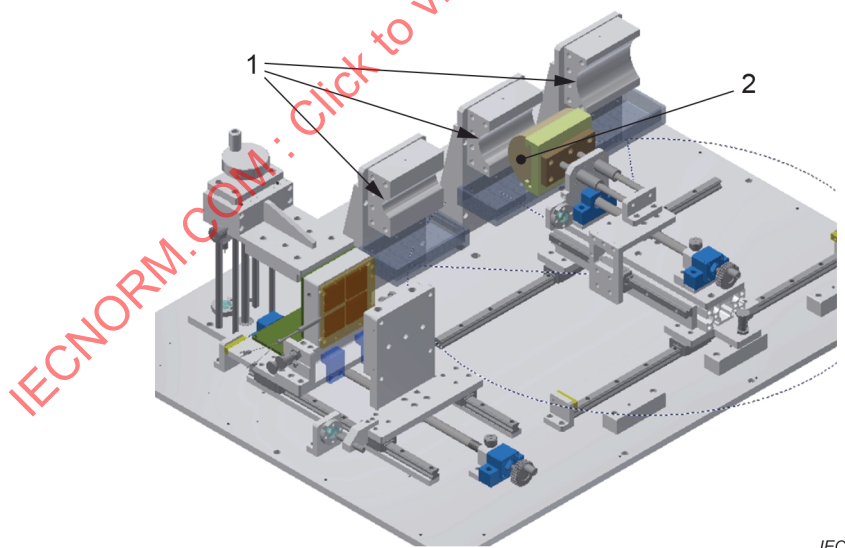
Example of experimental set-up and data for performance of thermoelectric device

A.1 Schematic experimental set-up for measuring generated power in a thermoelectric device under the bending condition

Figure A.1 shows a schematic diagram of an experimental set-up for measuring the electric power of a flexible thermoelectric device under different experimental conditions and three-dimensional drawings of the experimental set-up.



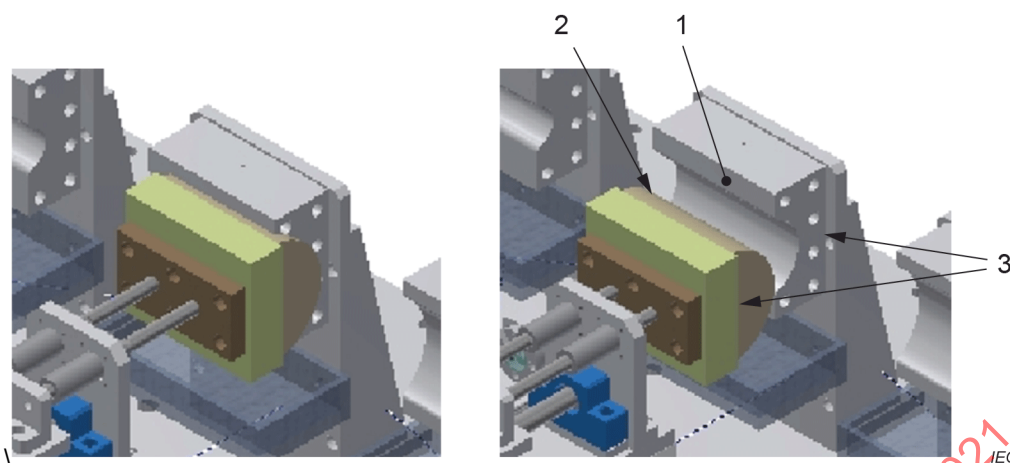
a) Schematic diagram of experimental set-up



Key

- 1 Different radiuses of curvature
(cooling and heating sides, 30 mm, 60 mm, 90 mm)
- 2 Cylinder with different radiuses of curvature can be replaced (hot side)

b) Schematic of experimental set-up

**Key**

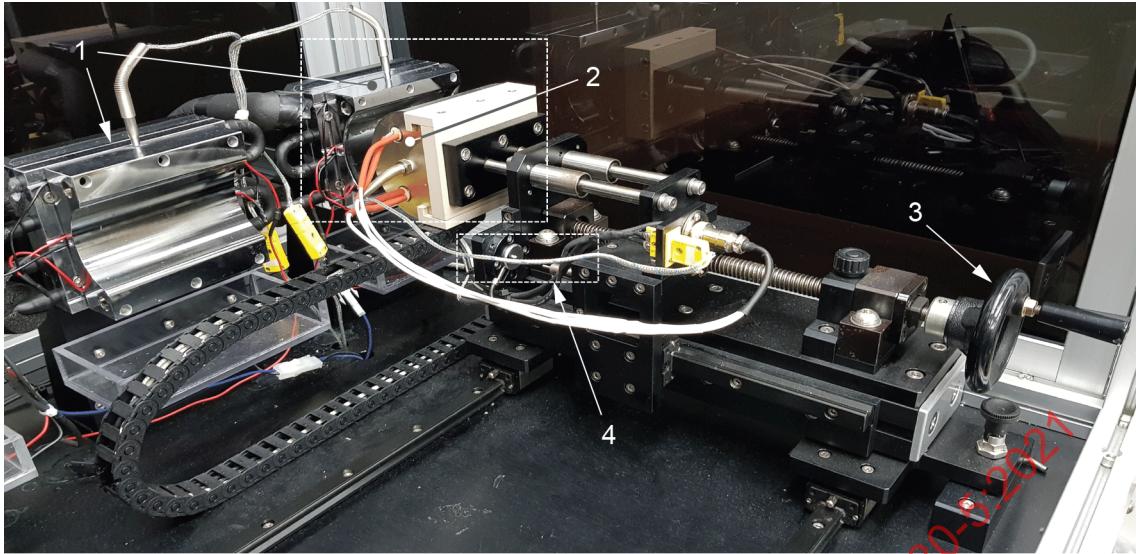
- 1 Cooling side
- 2 Heating side
- 3 Locations of thermocouple for temperature measurement

c) Zoomed-in view

Figure A.1 – Example of experimental schematic diagram and set-up for measuring the performance parameters of a flexible thermoelectric device under the bending condition

A.2 Experimental set-up for measuring contact pressure between a device and the cold or hot side

Figure A.2 shows an experimental set-up for measuring the generated electric power from a flexible thermoelectric device under the bending condition with different contact pressures, different contact conditions, different hot temperatures and different radiuses of curvature. These different experimental conditions can be implemented through the experimental set-up shown in Figure A.2.

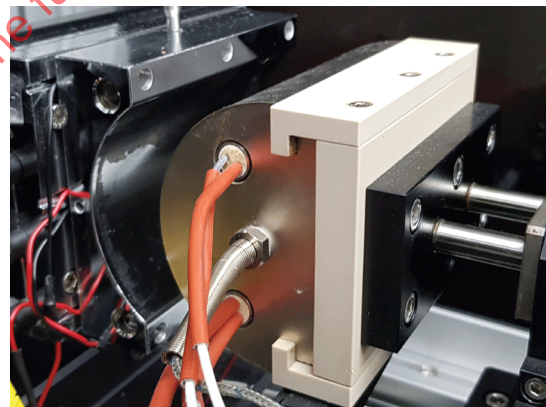


IEC

Key

- 1 Cooling part (by compressor)
- 2 Heating part (by resistance heating)
- 3 Contact pressure lever
- 4 Contact pressure measuring part

a) Experimental set-up



IEC

b) Zoomed-in views (right: contact pressure measuring part, left: cooling and heating parts)

Figure A.2 – Example of experimental set-up for measuring generated electric power

A.3 Example of experimentally measured data under different conditions

The graphs in Figure A.3 show experimental data with different conditions. The graph in the top left of Figure A.3 shows how different contact pressures between the cooling or heating part and the flexible thermoelectric device impacts on the performance of the thermoelectric device (Key 1). The graph in the top right shows how different contacts between the cooling or heating part and the device such as air, thermal pad and thermal grease, impact on the generated electric power (Key 2). The graph in the bottom left shows how the temperature of the heating side impacts on the generated electric power (Key 3). The graph in the bottom right shows how the bending radius of curvature of the thermoelectric device impacts on the generated electric power (Key 4). As investigated above, the experimental conditions listed can impact on the performance of the flexible thermoelectric device. Hence, these conditions need to be described in detail.

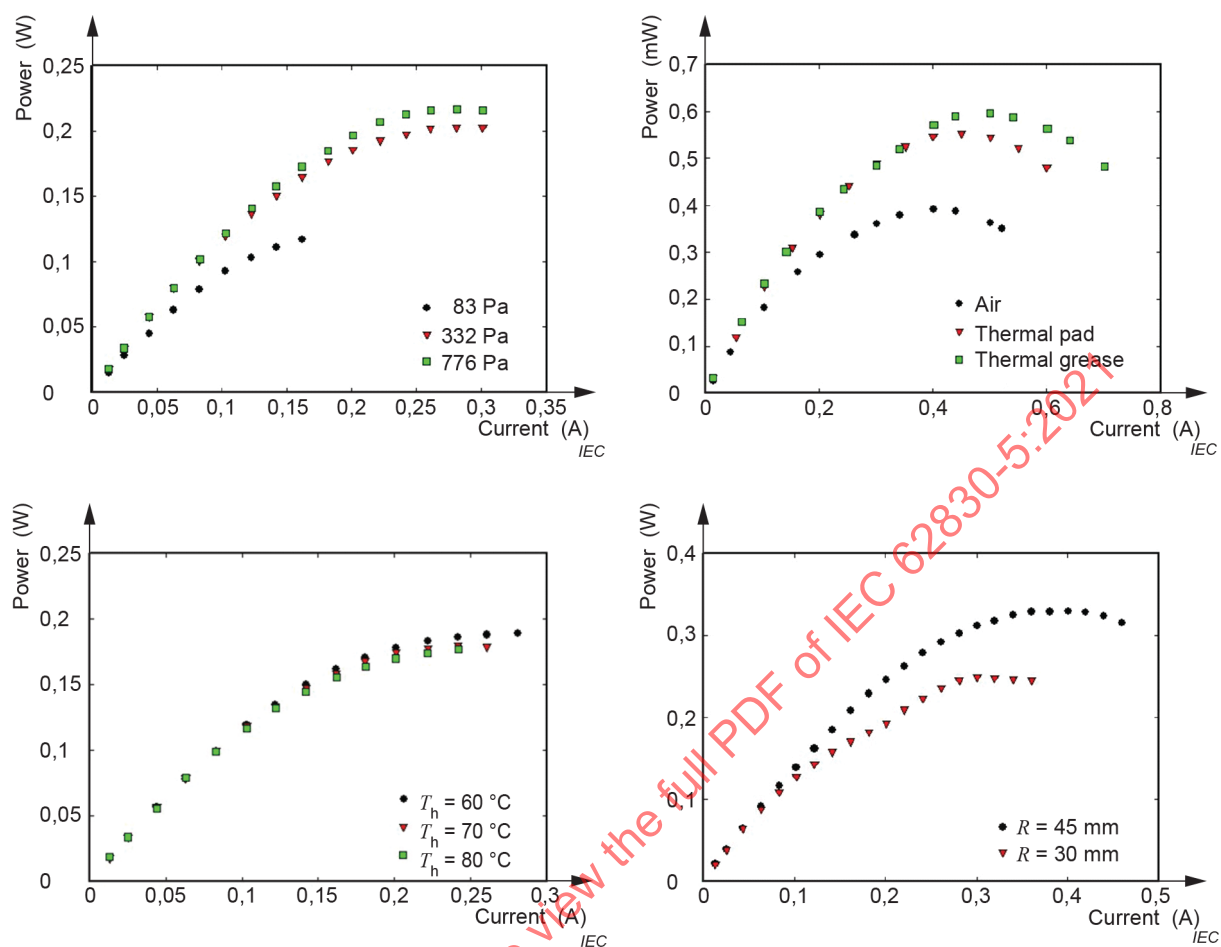


Figure A.3 – Example of experimental data for generated power from a flexible thermoelectric device under different conditions

Bibliography

IEC 60050-113, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 113: Physics for electrotechnology* (available at www.electropedia.org)

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60584-2¹, *Thermocouples – Part 2: Tolerances*

IEC 62194, *Method of evaluating the thermal performance of enclosures*

IEC 62830-2:2017, *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation – Part 2: Thermo power based thermoelectric energy harvesting*

K. Itoigawa, H. Ueno, M. Shiozaki, T. Toriyama and S. Sugiyama, Fabrication of flexible thermopile generator, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 15 (2005)

¹ This document has been withdrawn.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-5:2021

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Références normatives	21
3 Termes et définitions	21
4 Méthode d'essai	22
4.1 Appareillage expérimental général	22
4.2 Application aux dispositifs thermoélectriques souples	24
4.3 Consignation des résultats dans un rapport	27
Annexe A (informative) Exemple de montage expérimental et données concernant les performances d'un dispositif thermoélectrique	28
A.1 Schéma d'un montage expérimental pour la mesure de la puissance générée au sein d'un dispositif thermoélectrique dans les conditions de courbure	28
A.2 Montage expérimental pour la mesure de la pression de contact entre un dispositif et le côté froid ou chaud	29
A.3 Exemple de données mesurées expérimentalement dans différentes conditions ...	31
Bibliographie.....	32
Figure 1 – Appareillage de mesure général pour la puissance générée dans un dispositif thermoélectrique	23
Figure 2 – Appareillage expérimental pour la puissance générée dans un dispositif thermoélectrique souple.....	25
Figure 3 – Appareillage expérimental pour différents rayons de courbure en flexion	25
Figure A.1 – Exemple de diagramme schématique et de représentation tridimensionnelle d'un montage expérimental pour la mesure des paramètres de performance d'un dispositif thermoélectrique souple dans les conditions de courbure	29
Figure A.2 – Exemple de montage expérimental pour la mesure de la puissance électrique générée	30
Figure A.3 – Exemple de données expérimentales concernant la puissance générée par un dispositif thermoélectrique souple dans différentes conditions	31
Tableau 1 – Relation entre le rayon de courbure en flexion et différentes parties du corps humain.....	26
Tableau 2 – Paramètres exigés à inclure dans le rapport d'essai	26
Tableau 3 – Paramètres déterminés expérimentalement pour un dispositif thermoélectrique	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR
RÉCUPÉRATION ET PRODUCTION D'ÉNERGIE –****Partie 5: Méthode d'essai pour la mesure de la puissance
générée par des dispositifs thermoélectriques souples**

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 63830-5 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
47/2668/FDIS	47/2678/RVD

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

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-5:2021

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

Partie 5: Méthode d'essai pour la mesure de la puissance générée par des dispositifs thermoélectriques souples

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62830 spécifie la méthode d'essai utilisée pour mesurer la puissance électrique générée par des dispositifs thermoélectriques souples dans des conditions de courbure. Le présent document fournit les termes, définitions, symboles, configurations et méthodes d'essai pouvant être utilisés pour évaluer et déterminer les performances des dispositifs thermoélectriques souples. Le présent document décrit également les conditions d'essai, telles que la température, la différence de température, les conditions de contact, l'isolement et le rayon de courbure des dispositifs thermoélectriques souples. Le présent document s'applique aux dispositifs souples de récupération d'énergie pour les dispositifs à semiconducteurs souples.

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

générateur thermoélectrique

dispositif convertissant directement la chaleur (différence de température) en énergie électrique, en utilisant un phénomène nommé effet de Seebeck

3.2

rayon de courbure

rayon minimal mesuré au niveau de la courbure interne avec lequel il est possible de plier un conduit, un tube, une feuille, un câble ou un tuyau sans l'endommager par une torsion ni diminuer sa durée de vie

3.3

coefficient de Seebeck

S

amplitude d'une tension thermoélectrique induite en réponse à une différence de température à travers un matériau et à l'entropie par porteur de charge dans le matériau

[SOURCE: IEC 62830-2:2017, 3.1]

3.4 conductivité thermique

 k_c

en un point fixe d'un milieu où existe un champ de température, grandeur scalaire k_c caractérisant l'aptitude du milieu à transmettre la chaleur à travers un élément de surface contenant le point: $\varphi = -k_c \text{ grad } T$, où φ est le flux thermique surfacique et T est la température thermodynamique

Note 1 à l'article: Elle apparaît principalement dans la loi de Fourier pour la conduction thermique. Cette valeur dépend de la température. La résistivité thermique est donnée par la réciproque de la conductivité thermique.

[SOURCE: IEC 60050-113:2011, 113-04-38, modifiée – la grandeur scalaire a été remplacée par k_c et les notes ont été remplacées par la Note 1.]

3.5 différence de température

 T_{h-c}

différence entre les côtés chauffant et de refroidissement

3.6 chaleur fournie

 Q_{hot}

énergie thermique mesurée (ou calculée) fournie au dispositif thermoélectrique

3.7 chaleur dissipée

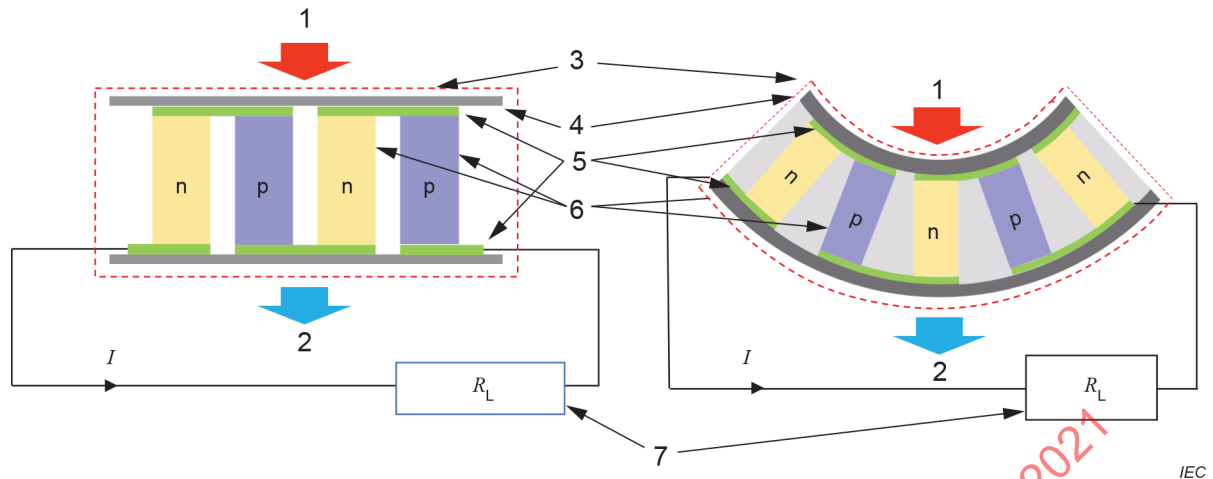
 Q_{cold}

énergie thermique mesurée (ou calculée) dissipée par le dispositif thermoélectrique

4 Méthode d'essai

4.1 Appareillage expérimental général

Le principe général du montage d'essai visant à mesurer la puissance générée par les dispositifs thermoélectriques, particulièrement les dispositifs thermoélectriques souples, est décrit. En général, le dispositif thermoélectrique génère une énergie électrique par le biais d'une différence de température entre deux surfaces du dispositif. Par conséquent, pour caractériser les performances du dispositif, il convient que la température des côtés chauffant et de refroidissement au sein d'un montage expérimental soit continuellement maintenue. Le diagramme schématique général du dispositif thermoélectrique comprenant le montage expérimental pour mesurer la puissance générée est représenté à la Figure 1. Une explication des formules fréquemment utilisées pour le dispositif thermoélectrique et le montage expérimental est également incluse. Le principe de base de la méthode de mesure pour les dispositifs souples et rigides est identique, mais l'appareillage expérimental peut être différent du fait de la flexibilité du dispositif thermoélectrique souple. Afin d'utiliser l'avantage d'un dispositif thermoélectrique souple et d'en examiner ses limites, il convient que ses performances soient mesurées dans les conditions de courbure.



Légende

- 1 Côté chauffant (Q_{hot})
- 2 Côté de refroidissement (Q_{cold})
- 3 Dispositif thermoélectrique pour la production d'énergie
- 4 Isolant
- 5 Electrodes
- 6 Matériaux thermoélectriques (n: semiconducteur de type N, p: semiconducteur de type P)
- 7 Charge

Figure 1 – Appareillage de mesure général pour la puissance générée dans un dispositif thermoélectrique

Comme représenté à la Figure 1, il est possible de générer une puissance électrique au sein du dispositif thermoélectrique lorsqu'une différence de température est appliquée entre ses faces. Sans charge, la tension de circuit ouvert comme mesurée entre deux surfaces est:

$$V = S \times T_{h-c} \quad (1)$$

où

V est la tension de sortie issue du générateur thermoélectrique, en V;

S est le coefficient de Seebeck moyen, en V/K;

T_{h-c} est la différence de température à travers le générateur thermoélectrique, en K;

où, pour $T_{h-c} = T_h - T_c$:

T_h est la température de surface du côté chaud du générateur, en K;

T_c est la température de surface du côté froid du générateur, en K.

Lorsqu'une charge est connectée au générateur thermoélectrique, la tension de sortie (V) chute en raison de la résistance interne du générateur. Le courant à travers la charge est

$$I = \frac{S \times T_{h-c}}{R_c + R_L} \quad (2)$$

où

I est le courant de sortie du générateur thermoélectrique, en A;

R_c est la résistance interne moyenne du dispositif thermoélectrique, en Ω ;

R_L est la résistance de charge, en Ω .

Le total de la puissance générée dans le dispositif (P_g) est simplement

$$P_g = I \times V \quad (3)$$

Le total de la chaleur fournie au générateur thermoélectrique (Q_{hot}) est

$$Q_{hot} = (S \times T_h \times I) - (0,5 \times I^2 R_c) + (K \times T_{h-c}) \quad (4)$$

où

Q_{hot} est la chaleur fournie, en W;

K est la conductivité thermique du générateur, en W/K.

Le rendement du générateur est

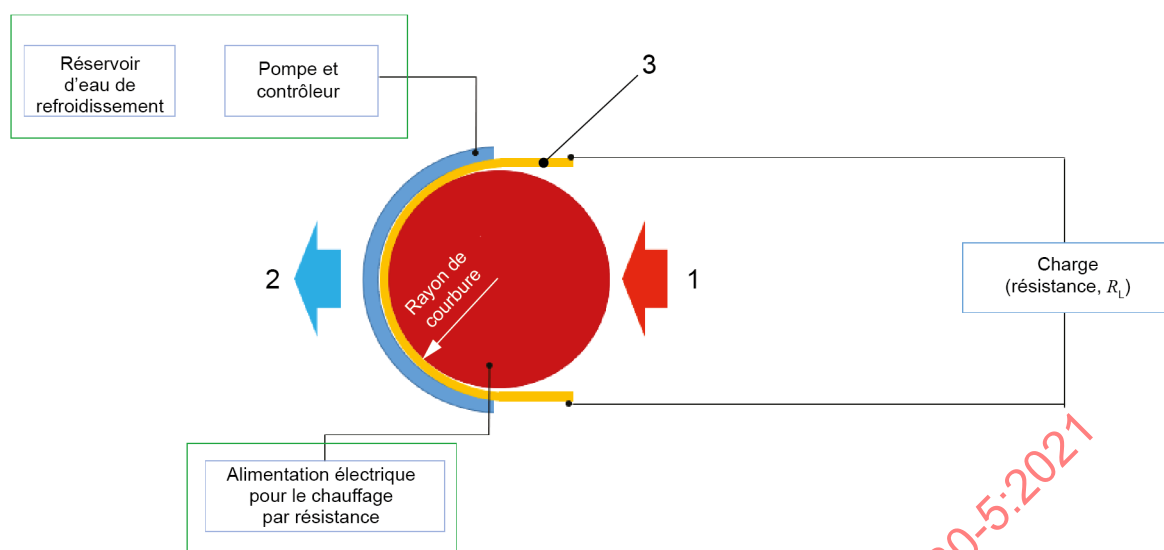
$$\eta = \frac{P_g}{Q_{hot}} \quad (5)$$

où

η est le rendement du générateur thermoélectrique.

4.2 Application aux dispositifs thermoélectriques souples

Le paragraphe 4.2 indique l'appareillage expérimental détaillé permettant de mesurer la puissance générée dans un dispositif thermoélectrique. Il porte sur l'appareillage expérimental détaillé pour mesurer la puissance générée par les dispositifs thermoélectriques souples dans les conditions de courbure. Dans le cas des dispositifs thermoélectriques souples, la priorité de la mesure est la puissance générée dans les conditions de courbure. A cette fin, un exemple d'appareillage expérimental permettant de déterminer la puissance générée est représenté à la Figure 2. Comme représenté à la Figure 2, il convient d'utiliser un appareillage expérimental permettant la mesure de la puissance dans les conditions de courbure pour un dispositif souple. Pour le côté de refroidissement, de l'eau de refroidissement, une pompe et un contrôleur sont utilisés pour maintenir la température établie. Un chauffage électrique avec une résistance est utilisé pour maintenir la température du côté chauffant. Cependant, les méthodes de refroidissement et de chauffage peuvent être adaptées en fonction de la taille de l'échantillon et de la plage de températures.



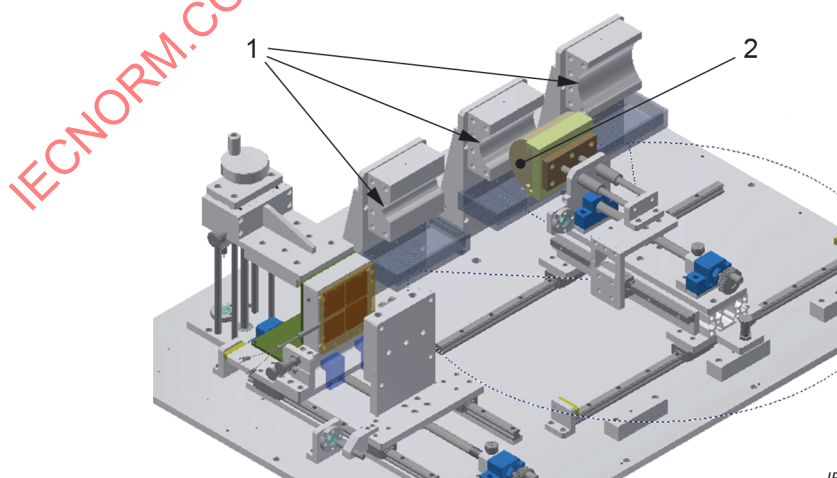
IEC

Légende

- 1 Côté chauffant (Q_{hot})
- 2 Côté de refroidissement (Q_{cold})
- 3 Dispositif thermoélectrique souple pour la production d'énergie

Figure 2 – Appareillage expérimental pour la puissance générée dans un dispositif thermoélectrique souple

Dans le cas d'un dispositif thermoélectrique souple, les performances, incluant le rendement, peuvent varier en fonction du rayon de courbure en flexion. Par conséquent, des rayons de courbure en flexion différents peuvent être suggérés en fonction des applications comme représenté à la Figure 3. Un diagramme schématique détaillé de montage expérimental est décrit en A.1. Par exemple, dans le cas de dispositifs thermoélectriques souples générant une puissance à partir d'une différence de température entre le corps humain et des conditions d'environnement, des exemples de rayons de courbure différents en fonction de la partie du corps sont donnés dans le Tableau 1.



IEC

Légende

- 1. Rayons de courbure différents (côté de refroidissement, 30 mm, 60 mm, 90 mm)
- 2. Cylindre remplaçable pour proposer différents rayons de courbure (côté chauffant)

Figure 3 – Appareillage expérimental pour différents rayons de courbure en flexion

Tableau 1 – Relation entre le rayon de courbure en flexion et différentes parties du corps humain

Partie du corps humain	Pouce	Poignet	Avant-bras	Haut du bras	Main
Rayon de courbure en flexion (mm)	9	28	40	50	Variable, mais il peut être très grand

De plus, la quantité de puissance générée par des dispositifs thermoélectriques souples peut varier en fonction de la température, de la différence de température et des conditions de contact. Cela est dû au fait qu'il convient d'avoir un écart de température entre le côté de refroidissement ou le côté chauffant et la surface du dispositif. Cet écart dépend des conditions de contact. Les conditions de contact entre la surface du dispositif et celle du côté chauffant ou de refroidissement peuvent être caractérisées par la mesure de la pression de contact dans le cas d'un dispositif thermoélectrique rigide. En revanche, dans le cas d'un dispositif souple, la pression de contact peut grandement varier en fonction du type de boîtier ou du matériau constituant le dispositif thermoélectrique souple. Par conséquent, il est fortement recommandé d'inclure dans le rapport la description du type de boîtier, de la structure et les dimensions du dispositif, incluant la distance entre les côtés chauffant et de refroidissement. Un exemple de montage expérimental détaillé permettant de mesurer la pression de contact est décrit en A.2. Le Tableau 2 donne ces paramètres et le Tableau 3 indique les paramètres de performance du dispositif thermoélectrique, incluant les conditions du montage expérimental. En outre, un exemple de détermination expérimentale de la puissance générée dans différentes conditions est présenté en A.3.

Tableau 2 – Paramètres exigés à inclure dans le rapport d'essai

Paramètre	Explications
Détection de la température	– Emplacement de la pièce de détection de la température pour les côtés chaud et froid – Types de détecteurs de température
Isolement	– Schéma indiquant les informations sur le degré du niveau d'isolement
Matériau de l'interface thermique	– Application du matériau de l'interface thermique entre le dispositif et les côtés chaud et froid – Types de matériaux de l'interface thermique
Rayon de courbure en flexion	– Schéma indiquant les informations sur la façon dont l'essai de courbure est effectué
Distance entre les côtés chauffant et de refroidissement (ou pression de contact)	– Informations concernant la façon dont le dispositif est enfoncé depuis les côtés chauffant et de refroidissement – La longueur des deux côtés doit être mesurée dans une direction radiale. – La pression de contact peut être déterminée en divisant la force appliquée par l'aire du dispositif.

L'épaisseur de l'échantillon et la distance entre les côtés chauffant et de refroidissement sont des paramètres importants. En général, la puissance générée dépend de la pression de contact entre l'échantillon et le côté chauffant ou de refroidissement. Cependant, contrairement à un dispositif thermoélectrique plat ayant une surface rigide, celle du dispositif thermoélectrique souple se déforme facilement avec une pression de contact. Par conséquent, dans le cas d'un dispositif thermoélectrique souple, il est préférable de consigner la distance entre les côtés chaud et froid à la place de la pression de contact, en incluant une description de la structure du boîtier du dispositif souple.