

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –
Part 4: Test and evaluation methods for flexible piezoelectric energy harvesting devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et production d'énergie –
Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-6609-0

**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 Piezoelectric transducer.....	8
3.3 Characteristic parameters	8
4 Essential ratings and characteristic parameters.....	10
4.1 Limiting values and operating conditions.....	10
4.2 Additional information	11
5 Test method	11
5.1 General.....	11
5.2 Electrical characteristics	12
5.2.1 Test procedure	12
5.2.2 Capacitance	13
5.2.3 Open circuit voltage.....	14
5.2.4 Short circuit current	14
5.2.5 Open circuit voltage with various induced strains.....	15
5.2.6 Short circuit current with various induced strains	15
5.2.7 Open circuit voltage with various induced frequencies	16
5.2.8 Short circuit current with various induced frequencies.....	17
5.2.9 Output load voltage	18
5.2.10 Output current	19
5.2.11 Output power.....	19
5.2.12 Optimal load impedance	20
5.2.13 Maximum output power.....	20
5.2.14 Test procedure	20
5.2.15 Temperature range	21
5.2.16 Relative humidity range	22
5.2.17 Input bending motion range	22
5.2.18 Input stretching motion range	22
5.2.19 Input twisting motion range.....	22
Annex A (informative) Piezoelectric modes	23
A.1 General.....	23
A.2 d_{33} mode.....	23
A.3 d_{31} mode.....	23
Annex B (informative) Classification of flexible piezoelectric energy harvesters	25
B.1 General.....	25
B.2 Piezoelectric thin film with top and bottom electrodes (d_{31} mode).....	25
B.3 Piezoelectric thin film with comb structured electrodes (d_{33} mode).....	25
B.4 Piezoelectric nano wire with top and bottom electrodes	25
B.5 Flexible piezoelectric material with top and bottom electrodes	25
Annex C (informative) Input motions	27
C.1 Classification of strain motions.....	27
C.2 Example of test method	27

Annex D (informative) Electromechanical coupling	29
D.1 Compliance and coupling coefficient relation.....	29
D.2 Young's modulus and coupling coefficient relation	29
Bibliography.....	30
Figure 1 – Flexible energy harvester using a flexible substrate with a piezoelectric film	7
Figure 2 – Equivalent circuit of flexible piezoelectric energy harvester	9
Figure 3 – Measurement procedure of flexible piezoelectric energy harvesters	12
Figure 4 – Test setup for the electrical characteristics of a flexible piezoelectric energy harvester	13
Figure 5 – Open circuit voltage of a flexible piezoelectric energy harvester.....	14
Figure 6 – Short circuit current of a flexible piezoelectric energy harvester	14
Figure 7 – Open circuit voltage of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced strains	15
Figure 8 – Short circuit current of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced strains	16
Figure 9 – Open circuit voltage of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced frequencies	17
Figure 10 – Short circuit current of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced frequencies	18
Figure 11 – Output load voltages of flexible piezoelectric energy harvester at various external loads	19
Figure 12 – Output current of the flexible piezoelectric energy harvester at various output voltages	19
Figure 13 – Output power of the flexible piezoelectric energy harvester at various external loads	20
Figure 14 – Output power and voltage of the flexible piezoelectric energy harvester at various input bending, stretching, or twisting motions	20
Figure 15 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of the flexible piezoelectric energy harvester	21
Figure A.1 – Piezoelectric mode of the bending beam based energy harvester	24
Figure B.1 – Classification of flexible piezoelectric energy harvesters	26
Figure C.1 – Classification of strain motions applied for flexible piezoelectric energy harvesters.....	27
Figure C.2 – The output current measurement for different types of stretching.....	28
Table 1 – Specification parameters for flexible piezoelectric energy harvesters	10

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
SEMICONDUCTOR DEVICES FOR
ENERGY HARVESTING AND GENERATION –**

**Part 4: Test and evaluation methods for
flexible piezoelectric energy harvesting 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 62830-4 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
47/2530/FDIS	47/2551/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.

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –

Part 4: Test and evaluation methods for flexible piezoelectric energy harvesting devices

1 Scope

This part of IEC 62830 describes terms, definitions, symbols, configurations, and test methods that can be used to evaluate and determine the performance characteristics of flexible piezoelectric energy harvesting devices for practical use. This document is applicable to energy harvesting devices for consumers, general industries, wearable electronics, military, and biomedical applications without any limitations of device technology and size.

2 Normative references

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

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

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

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 piézoélectrique	38
3.3 Paramètres des caractéristiques	38
4 Paramètres essentiels des valeurs assignées et des caractéristiques	40
4.1 Valeurs limites et conditions de fonctionnement	40
4.2 Informations supplémentaires	41
5 Méthode d'essai	41
5.1 Généralités	41
5.2 Caractéristiques électriques	42
5.2.1 Procédure d'essai	42
5.2.2 Capacité	44
5.2.3 Tension en circuit ouvert	44
5.2.4 Courant de court-circuit	44
5.2.5 Tension en circuit ouvert avec différentes déformations induites	45
5.2.6 Courant de court-circuit avec différentes déformations induites	46
5.2.7 Tension en circuit ouvert avec différentes fréquences induites	47
5.2.8 Courant de court-circuit avec différentes fréquences induites	48
5.2.9 Tension de charge en sortie	49
5.2.10 Courant de sortie	50
5.2.11 Puissance de sortie	50
5.2.12 Impédance de charge optimale	51
5.2.13 Puissance de sortie maximale	51
5.2.14 Procédure d'essai	52
5.2.15 Plage de températures	53
5.2.16 Plage de taux d'humidité relative	53
5.2.17 Plage de mouvements de courbure en entrée	53
5.2.18 Plage de mouvements d'étirement en entrée	53
5.2.19 Plage de mouvements de torsion en entrée	53
Annexe A (informative) Modes piézoélectriques	54
A.1 Généralités	54
A.2 Mode d_{33}	54
A.3 Mode d_{31}	54
Annexe B (informative) Classification des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	56
B.1 Généralités	56
B.2 Film mince piézoélectrique avec électrodes supérieure et inférieure (mode d_{31})	56
B.3 Film mince piézoélectrique avec électrodes en peigne (mode d_{33})	56
B.4 Nanofil piézoélectrique avec électrodes supérieure et inférieure	56
B.5 Matériau piézoélectrique souple avec électrodes supérieure et inférieure	56

Annexe C (informative) Mouvements en entrée	58
C.1 Classification des mouvements de déformation	58
C.2 Exemple de méthode d'essai	58
Annexe D (informative) Couplage électromécanique	60
D.1 Relation entre la complaisance et le coefficient de couplage	60
D.2 Relation entre le module de Young et le coefficient de couplage	60
Bibliographie.....	61
Figure 1 – Récupérateur d'énergie souple utilisant un substrat souple avec film piézoélectrique	37
Figure 2 – Circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	39
Figure 3 – Procédure de mesure des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	42
Figure 4 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	43
Figure 5 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple.....	44
Figure 6 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	45
Figure 7 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes déformations induites	46
Figure 8 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes déformations induites	47
Figure 9 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes fréquences induites	48
Figure 10 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes fréquences induites	49
Figure 11 – Tensions de charge en sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes charges externes	50
Figure 12 – Courant de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes tensions de sortie	50
Figure 13 – Puissance de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes charges externes.....	51
Figure 14 – Puissance de sortie et tension de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différents mouvements de courbure, d'étirement ou de torsion	51
Figure 15 – Schéma fonctionnel d'un montage d'essai pour l'évaluation de la fiabilité d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	52
Figure A.1 – Mode piézoélectrique d'un récupérateur d'énergie basé sur le rayon de courbure	55
Figure B.1 – Classification des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	57
Figure C.1 – Classification des mouvements de déformation appliqués aux récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples.....	58
Figure C.2 – Mesure du courant de sortie avec différentes amplitudes d'étirement.....	59
Tableau 1 – Paramètres des spécifications pour les récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique 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 62830-4 a été établie par le comité d'études 47: Dispositifs à semiconducteurs.

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

FDIS	Rapport de vote
47/2530/FDIS	47/2551/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.

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 cette publication 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.

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

Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62830 décrit les termes, définitions, symboles, configurations et les méthodes d'essai pouvant être utilisés pour apprécier et déterminer les caractéristiques de performance des dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples 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 appareils électroniques portatifs et aux applications militaires et biomédicales, sans restriction concernant la technologie et la taille des dispositifs.

2 Références normatives

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

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

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