

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 32: Test method for the nonlinear vibration of MEMS resonators**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 32: Méthode d'essai pour la vibration non linéaire des résonateurs MEMS**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-6455-3

**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 Test parameters of nonlinear vibration of the resonators	5
5 Test method for the amplitude-frequency response and phase-frequency response of the nonlinear vibration	6
5.1 Test system	6
5.2 Test conditions	6
5.3 Test procedures	7
6 Test method for the bending factor of the nonlinear vibrating frequency response	7
7 Test method for the amplitude threshold for the nonlinear jump	7
8 Test method for the frequency deviation as a result of the nonlinear vibration	8
8.1 Frequency deviation of the self-excitation closed-loop system.....	8
8.2 Frequency deviation of the phase-locked closed-loop system	8
8.3 Frequency deviation of the burst-excited system	9
Annex A (normative) Model of nonlinear vibration of MEMS resonators and bending factor	10
A.1 Model of nonlinear vibration of MEMS resonators	10
A.2 Solution of the nonlinear vibration model	11
A.3 Bending factor of the amplitude-frequency response	11
Annex B (informative) Nonlinear jump of the frequency response of MEMS resonators	14
Annex C (normative) Frequency deviation of MEMS resonators in the closed-loop system	16
C.1 Effect of the frequency deviation of the MEMS resonator on the accuracy of the resonant sensor	16
C.2 Frequency deviation of the self-exciting closed-loop system	16
C.3 Frequency deviation of the phase-locked closed-loop system	16
C.4 Oscillation frequency deviation of the burst-excited closed-loop system	18
Figure 1 – Test system	6
Figure 2 – 3 dB bandwidth of the linear amplitude-frequency response	8
Figure A.1 – Typical amplitude-frequency response of the nonlinear vibration of the MEMS resonator	12
Figure A.2 – Change of the amplitude-frequency response with the bending factor	13
Figure B.1 – Jump phenomenon of the frequency response of a clamped-clamped MEMS bridge resonator	14
Figure B.2 – Three nonlinear amplitude-frequency responses with various amplitude level ...	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –**
Part 32: Test method for the nonlinear vibration of MEMS resonators

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 62047-32 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47F/322/FDIS	47F/325/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 62047 series, published under the general title *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices*, 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 – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 32: Test method for the nonlinear vibration of MEMS resonators

1 Scope

This part of IEC 62047 specifies the test method and test condition for the nonlinear vibration of MEMS resonators. The statements made in this document apply to the development and manufacture for MEMS resonators.

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 62047-1, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 1: Terms and definitions*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Termes et définitions	23
4 Paramètres d'essai de vibration non linéaire des résonateurs.....	23
5 Méthode d'essai pour la réponse amplitude-fréquence et la réponse phase- fréquence de la vibration non linéaire	24
5.1 Système d'essai.....	24
5.2 Conditions d'essai.....	25
5.3 Procédures d'essai	25
6 Méthode d'essai pour le facteur de flexion de la réponse en fréquence de vibration non linéaire	25
7 Méthode d'essai pour le seuil d'amplitude pour le saut non linéaire	26
8 Méthode d'essai pour l'écart de fréquence résultant de la vibration non linéaire	27
8.1 Ecart de fréquence du système en boucle fermée à auto-excitation	27
8.2 Ecart de fréquence du système en boucle fermée à verrouillage de phase.....	27
8.3 Ecart de fréquence du système à excitation par salve	27
Annexe A (normative) Modèle de vibration non linéaire des résonateurs MEMS et facteur de flexion	28
A.1 Modèle de vibration non linéaire des résonateurs MEMS	28
A.2 Solution du modèle de vibration non linéaire.....	29
A.3 Facteur de flexion de la réponse amplitude-fréquence	29
Annexe B (informative) Saut non-linéaire de la réponse en fréquence des résonateurs MEMS.....	32
Annexe C (normative) Ecart de fréquence des résonateurs MEMS dans le système en boucle fermée	35
C.1 Effet de l'écart de fréquence du résonateur MEMS sur l'exactitude du capteur résonnant.....	35
C.2 Ecart de fréquence du système en boucle fermée à auto-excitation	35
C.3 Ecart de fréquence du système en boucle fermée à verrouillage de phase.....	36
C.4 Ecart de fréquence d'oscillation du système en boucle fermée à excitation par salve.....	37
Figure 1 – Système d'essai.....	24
Figure 2 – Largeur de bande de -3 dB de la réponse amplitude-fréquence linéaire	26
Figure A.1 – Réponse amplitude-fréquence typique de la vibration non linéaire du résonateur MEMS	30
Figure A.2 – Variation de la réponse amplitude-fréquence en fonction du facteur de flexion.....	31
Figure B.1 – Phénomène de saut de la réponse en fréquence d'un résonateur en pont MEMS en configuration encastré-encastré	33
Figure B.2 – Trois réponses amplitude-fréquence non linéaires à divers niveaux d'amplitude	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS –
DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

**Partie 32: Méthode d'essai pour la vibration non linéaire
des résonateurs MEMS**

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 62047-32 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du 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
47F/322/FDIS	47F/325/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 62047, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques*, 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.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 32: Méthode d'essai pour la vibration non linéaire des résonateurs MEMS

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62047 spécifie la méthode d'essai et les conditions d'essai pour la vibration non linéaire des résonateurs MEMS. Les énoncés du présent document s'appliquent au développement et à la fabrication des résonateurs MEMS.

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 62047-1, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques – Partie 1: Termes et définitions*