IEC 60444-6

Edition 3.0 2021-09

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)

Mesure des paramètres des résonateurs à quartz – Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-1014-4

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD....3
INTRODUCTION....5
1 Scope....6
2 Normative references....6
3 Terms and definitions....6
4 DLD effects....6
4.1 Reversible changes in frequency and resistance....6
4.2 Irreversible changes in frequency and resistance....7
4.3 Causes of DLD effects....7
5 Drive levels for DLD measurement....7
6 Test methods....8
6.1 Method A (fast standard measurement method)....8
6.1.1 Testing at two drive levels....8
6.1.2 Testing according to specification....9
6.2 Method B (Multi-level reference measurement method)....10
Annex A (normative) Relationship between electrical drive level and mechanical displacement of quartz crystal units....12
Annex B (normative) Method C: DLD measurement with oscillation circuit....15
Bibliography....20

Figure 1 – Maximum tolerable resistance ratio γ for the drive level dependence as a function of the resistances R_{12} or R_{13}....9
Figure B.1 – Insertion of a quartz crystal unit in an oscillator....15
Figure B.2 – Crystal unit loss resistance as a function of dissipated power....16
Figure B.3 – Behaviour of the R_r of a quartz crystal unit....17
Figure B.4 – Block diagram of circuit system....17
Figure B.5 – Installed $-R_{osc}$ in scanned drive level range....18
Figure B.6 – Drive level behaviour of a quartz crystal unit if $-R_{osc}$ = 70 Ω is used as test limit in the Annex B test....18
Figure B.7 – Principal schematic diagram of the go/no-go test circuit....19

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)

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.

IEC 60444-6 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2013. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) some equations have been removed and corrected;
b) it has been specified in the note of the Scope that the measurement methods specified in this document are not only applicable to AT-cut but also to other crystal cuts and vibration modes.

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

FDIS	Report on voting
49/1374/FDIS	49/1377/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts in the IEC 60444 series, published under the general title *Measurement of quartz crystal unit parameters*, 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.

INTRODUCTION

The drive level (expressed as power/voltage across or current through the crystal unit) forces the resonator to produce mechanical oscillations by way of piezoelectric effect. In this process, the acceleration work is converted to kinetic and elastic energy and the power loss to heat. The latter conversion is due to the inner and outer friction of the quartz resonator.

The frictional losses depend on the velocity of the vibrating masses and increase when the oscillation is no longer linear or when critical velocities, elongations or strains, excursions or accelerations are attained in the quartz resonator or at its surfaces and mounting points (see Annex A). This causes changes in resistance and frequency, as well as further changes due to the temperature dependence of these parameters.

At “high” drive levels (e.g. above 1 mW or 1 mA for AT-cut crystal units) changes are observed by all crystal units and these also can result in irreversible amplitude and frequency changes. Any further increase of the drive level may could destroy the resonator.

Apart from this effect, changes in frequency and resistance are observed at “low” drive levels in some crystal units (e.g. below 1 µW or 50 µA for AT-cut crystal units). In this case, if the loop gain is not sufficient, the start-up of the oscillation is difficult. In crystal filters, the transducer attenuation and ripple will change.

Furthermore, the coupling between a specified mode of vibration and other modes (e.g. of the resonator itself, the mounting and the back-fill gas) also depends on the level of drive.

Due to the differing temperature response of these modes, these couplings give rise to changes of frequency and resistance of the specified mode within narrow temperature ranges. These changes increase with increasing drive level. However, this effect will not be considered further in this part of IEC 60444.

In this new edition, the concept of DLD in IEC 60444-6:2013 is maintained. However, the more suitable contents for the user’s severe requirements have been introduced.

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)

1 Scope

This part of IEC 60444 applies to the measurements of drive level dependence (DLD) of quartz crystal units. Two test methods (A and C) and one referential method (B) are described. “Method A”, based on the π-network according to IEC 60444-5, can be used in the complete frequency range covered by this part of IEC 60444. “Reference Method B”, based on the π-network or reflection method according to IEC 60444-5 or IEC 60444-8 can be used in the complete frequency range covered by this part of IEC 60444. “Method C”, an oscillator method, is suitable for measurements of fundamental mode crystal units in larger quantities with fixed conditions.

NOTE The measurement methods specified in this document are not only applicable to AT-cut, but also to other crystal cuts and vibration modes, such as doubly rotated cuts (IT,SC) and to tuning fork crystal units (by using a high impedance test fixture).

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 60444-5, *Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error correction*

IEC 60444-8, *Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 8: Test fixture for surface mounted quartz crystal units*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 23
INTRODUCTION 25
1 Domaine d'application 26
2 Références normatives 26
3 Termes et définitions 26
4 Effets de la DNE 26
4.1 Changements réversibles de la fréquence et de la résistance 26
4.2 Changements irréversibles de la fréquence et de la résistance 27
4.3 Causes des effets de la DNE 27
5 Niveaux d'excitation pour la mesure de la DNE 27
6 Méthodes d'essai 29
6.1 Méthode A (méthode de mesure rapide normalisée) 29
6.1.1 Essai à deux niveaux d'excitation 29
6.1.2 Essai conformément à la spécification 29
6.2 Méthode B (méthode de mesure de référence à plusieurs niveaux) 30
Annexe A (normative) Relation entre le niveau d'excitation électrique et le déplacement mécanique des résonateurs à quartz 33
Annexe B (normative) Méthode C: Mesure de la DNE avec un circuit d'oscillation 36
Bibliographie 41

Figure 1 – Rapport des résistances maximales tolérables γ pour la dépendance du niveau d'excitation en fonction des résistances R_{12} ou R_{13} 30
Figure B.1 – Insertion d'un résonateur à quartz dans un oscillateur 36
Figure B.2 – Résistance de perte d'un résonateur en fonction de la puissance dissipée 37
Figure B.3 – Comportement de R_r d'un résonateur à quartz 38
Figure B.4 – Schéma de circuit 38
Figure B.5 – $-R_{osc}$ installée dans une gamme de niveaux d'excitation balayés 39
Figure B.6 – Comportement du niveau d'excitation d'un résonateur à quartz si $-R_{osc}$ = 70 Ω est utilisée comme limite de l'essai de l'Annexe B 39
Figure B.7 – Schéma principal du circuit d'essai tout-ou-rien 40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)

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. À 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 du présent document 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 brevet.

L'IEC 60444-6 a été établie par le comité d'études 49 de l'IEC: Dispositifs piézoélectriques, diélectriques et électrostatiques et matériaux associés pour la détection, le choix et la commande de la fréquence. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2013. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

a) certaines équations ont été supprimées ou corrigées;
b) il est spécifié dans la note du Domaine d'application que les méthodes de mesure spécifiées dans le présent document ne s'appliquent pas uniquement à la coupe AT, mais aussi à d'autres coupes de cristaux et à d'autres modes de vibration.

Le texte de la présente Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
49/1374/FDIS	49/1377/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60444, publiées sous le titre général *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz*, 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 webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

INTRODUCTION

Le niveau d'excitation (exprimé comme la puissance/la tension aux bornes du résonateur ou le courant qui traverse le résonateur) force le résonateur à produire des oscillations mécaniques par effet piézoélectrique. Dans ce processus, le travail d'accélération est converti en énergie cinétique et élastique et les pertes de puissance en chaleur. La dernière conversion est due au frottement interne et externe du résonateur à quartz.

Les pertes de frottement dépendent de la vitesse des masses vibrantes et elles augmentent lorsque l'oscillation n'est plus linéaire ou lorsque des vitesses critiques, des élongations ou des déformations, des excursions ou des accélérations sont atteintes dans le résonateur à quartz ou sur ses surfaces et points de montage (voir Annexe A). Cela provoque des changements de la résistance et de la fréquence, ainsi que des changements supplémentaires, du fait que ces paramètres dépendent de la température.

A des niveaux d'excitation "élevés" (par exemple supérieurs à 1 mW ou 1 mA pour des résonateurs de coupe AT), des changements sont observés sur tous les résonateurs, ceux-ci pouvant provoquer des changements irréversibles de l'amplitude et de la fréquence. Toute autre augmentation du niveau d'excitation pourrait détruire le résonateur.

A part cet effet, des changements de la fréquence et de la résistance sont observés dans certains résonateurs (par exemple inférieurs à 1 µW ou 50 µA pour les résonateurs de coupe AT) à des niveaux d'excitation "bas". Dans ce cas, lorsque le gain de boucle n'est pas suffisant, le démarrage des oscillations est difficile. Dans les filtres à cristaux, l'affaiblissement de transmission et l'ondulation changent.

De plus, le couplage entre un mode de vibration spécifié et d'autres modes (par exemple du résonateur à proprement parler, du montage et du gaz de remplissage) dépend aussi du niveau d'excitation.

En raison des caractéristiques de température différentes de ces modes, ces couplages contribueront à des changements de la fréquence et de la résistance du mode spécifié dans des gammes de températures étroites. Ces changements augmentent avec l'élévation du niveau d'excitation. Cependant, cet effet n'est pas pris en compte dans la présente partie de l'IEC 60444.

Dans cette nouvelle édition, le concept de la DNE de l'IEC 60444-6:2013 est maintenu. Toutefois, un contenu mieux adapté aux exigences strictes des utilisateurs a été introduit.

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60444 s'applique aux mesures de la dépendance du niveau d'excitation (DNE) des résonateurs à quartz. Deux méthodes d'essai (A et C) et une méthode de référence (B) sont décrites. La méthode A, basée sur le réseau en π conformément à l'IEC 60444-5, peut être utilisée dans la plage de fréquences complète couverte par la présente partie de l'IEC 60444. La méthode de référence B, basée sur le réseau en π ou sur la méthode de réflexion conformément à l'IEC 60444-5 ou à l'IEC 60444-8, peut être utilisée dans la plage de fréquences complète couverte par la présente partie de l'IEC 60444. La méthode C, une méthode avec un oscillateur, est adaptée pour les mesures de résonateurs sur le mode fondamental en plus grandes quantités avec des conditions fixes.

NOTE Les méthodes de mesure spécifiées dans le présent document ne s'appliquent pas uniquement à la coupe AT, elles s'appliquent également à d'autres coupes de cristaux et d'autres modes de vibration, par exemple à des coupes à double rotation (IT, SC) et à des résonateurs à diapason (au moyen d'un dispositif d'essai à haute impédance).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 60444-5, *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz – Partie 5: Méthodes pour la détermination des paramètres électriques équivalents utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs*

IEC 60444-8, *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz – Partie 8: Dispositif d'essai pour les résonateurs à quartz montés en surface*