

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Measurement of quartz crystal unit parameters –  
Part 11: Standard method for the determination of the load resonance frequency  $f_L$  and the effective load capacitance  $C_{Leff}$  using automatic network analyzer techniques and error correction**

**Mesure des paramètres des résonateurs à quartz –  
Partie 11: Méthode normalisée pour la détermination de la fréquence de résonance à la charge  $f_L$  et de la capacité de charge efficace  $C_{Leff}$  utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

N

## CONTENTS

|  |    |
|--|----|
| FOREWORD.....  | 3  |
| 1 Scope.....   | 5  |
| 2 Normative references .....   | 5  |
| 3 General concepts .....   | 6  |
| 3.1 Load resonance frequencies $f_{Lr}$ and $f_{La}$ .....   | 6  |
| 3.2 Effective load capacitance $C_{Leff}$ .....  | 6  |
| 4 Reference plane and test conditions.....   | 7  |
| 4.1 General.....   | 7  |
| 4.2 Principle of measurement.....  | 7  |
| 4.3 Evaluation of errors .....   | 10 |
| Bibliography.....  | 14 |
| <br>   |    |
| Figure 1 – Admittance of a quartz crystal unit .....   | 6  |
| Figure 2 – $X_C$ as a function of frequency (solid line) in the vicinity of $f_L$ .....  | 9  |
| Figure 3 – Level of drive of a crystal in a $\pi$ -network vs. frequency .....   | 9  |
| Figure 4 – Error of the load resonance frequency due to the inaccuracy of the measured voltages (dashed line) and the calibration resistances (soft line) .....          | 11 |
| Figure 5 – $C_L$ -error resulting from $f_L$ error (due to inaccuracy of the measured voltages and the calibration resistances) for the same crystal as in Figure 4..... | 11 |
| Figure 6 – Frequency error due to noise of the measured voltages .....   | 12 |
| Figure 7 – Error of load resonance frequency $f_L$ at 30 pF and 10 pF for typical equivalent parameters of quartz crystal units .....                                    | 12 |
| Figure 8 – Error of $C_{Leff}$ for typical equivalent parameters of quartz crystal units .....   | 13 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –****Part 11: Standard method for the determination of the load resonance frequency  $f_L$  and the effective load capacitance  $C_{Leff}$  using automatic network analyzer techniques and error correction**

## 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 60444-11 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection.

The text of this standard is based on the following documents:

|            |                  |
|------------|------------------|
| CDV        | Report on voting |
| 49/852/CDV | 49/883/RVC       |

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 60444 series 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 amendment and the base publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication 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.**

## MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

### Part 11: Standard method for the determination of the load resonance frequency $f_L$ and the effective load capacitance $C_{Leff}$ using automatic network analyzer techniques and error correction

#### 1 Scope

This part of IEC 60444 defines the standard method of measuring load resonance frequency  $f_L$  at the nominal value of  $C_L$ , and the determination of the effective load capacitance  $C_{Leff}$  at the nominal frequency for crystals with the figure of merit  $M > 4$ .

$M$ , according to Table 1 of IEC 60122-1:2002, is expressed in the following equation:

$$M = \frac{Q}{r} = \frac{1}{\omega C_0 R_1} \quad (1)$$

This gives good results in a frequency range up to 200 MHz. This method allows the calculation of load resonance frequency offset  $\Delta f_L$ , frequency pulling range  $\Delta f_{L1,L2}$  and pulling sensitivity  $S$  as described in 2.2.31 of IEC 60122-1:2002. In contrary to the simple method of IEC 60444-4, this measurement technique avoids the use of physical load capacitors, and allows higher accuracy, better reproducibility and correlation to the application. It extends the upper frequency limit from 30MHz by the method of IEC 60444-4 to 200MHz approximately. This method is based on the error-corrected measurement technique of IEC 60444-5:1995, and therefore allows the measurement of  $f_L$  and  $C_{Leff}$  together with the determination of the equivalent crystal parameters in one sequence without changing the test fixture.

With this method the frequency  $f_L$  is searched where the reactance  $X_C$  of the crystal has the opposite value of the reactance of the load capacitance.

$$X_C = -X_{CL} = \frac{1}{\omega C_L} \quad (2)$$

Furthermore this method allows to determine the effective load capacitance  $C_{Leff}$  at the nominal frequency  $f_{nom}$ .

#### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60122-1:2002, *Quartz crystal units of assessed quality – Part 1: Generic specification*

IEC/TR 60444-4, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a  $\pi$ -network – Part 4: Method for the measurement of the load resonance frequency  $f_L$ , load resonance resistance  $R_L$  and the calculation of other derived values of quartz crystal units, up to 30 MHz*

IEC 60444-5:1995, *Measurement of quartz crystal units parameters – Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error correction*

## SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| AVANT-PROPOS.....   | 17 |
| 1 Domaine d'application .....   | 19 |
| 2 Références normatives.....  | 19 |
| 3 Concepts généraux .....   | 20 |
| 3.1 Fréquences de résonance à la charge $f_{Lr}$ et $f_{La}$ .....  | 20 |
| 3.2 Capacité de charge efficace $C_{Leff}$ .....  | 21 |
| 4 Plan de référence et conditions d'essai .....   | 21 |
| 4.1 Généralités.....  | 21 |
| 4.2 Principe de mesure .....  | 21 |
| 4.3 Évaluation des erreurs .....  | 24 |
| Bibliographie.....  | 28 |
| Figure 1 – Admittance d'un résonateur à quartz.....   | 20 |
| Figure 2 – $X_C$ en fonction de la fréquence (ligne continue) au voisinage de $f_L$ .....   | 23 |
| Figure 3 – Niveau d'excitation d'un résonateur dans un circuit en $\pi$ en fonction de la fréquence .....   | 23 |
| Figure 4 – Erreur de la fréquence de résonance à la charge due à l'imprécision des tensions mesurées (traits pointillés) et aux résistances d'étalonnage (trait plein).....                       | 25 |
| Figure 5 – Erreur de $C_L$ résultant d'une erreur de $f_L$ (due à l'imprécision des tensions mesurées et des résistances d'étalonnage) pour le même résonateur à quartz que dans la Figure 4..... | 25 |
| Figure 6 – Erreur de fréquence due au bruit des tensions mesurées .....   | 26 |
| Figure 7 – Erreur de la fréquence de résonance à la charge $f_L$ à 30 pF et 10 pF pour des paramètres typiques équivalents des résonateurs à quartz.....  | 26 |
| Figure 8 – Erreur de $C_{Leff}$ pour des paramètres typiques équivalents des résonateurs à quartz .....   | 27 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

#### Partie 11: Méthode normalisée pour la détermination de la fréquence de résonance à la charge $f_L$ et de la capacité de charge efficace $C_{Leff}$ utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Il convient que les utilisateurs s'assurent qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme Internationale CEI 60444-11 a été établie par le Comité d'Etudes 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques, diélectriques et électrostatique et matériaux associés pour la détection, le choix et la commande de la fréquence.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| CDV        | Rapport de vote |
|------------|-----------------|
| 49/852/CDV | 49/883/RVC      |

Le rapport de vote donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60444 présentées sous le titre général *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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 la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou encore
- amendée.

**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.**

## MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

### Partie 11: Méthode normalisée pour la détermination de la fréquence de résonance à la charge $f_L$ et de la capacité de charge efficace $C_{Leff}$ utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60444 définit la méthode normalisée de mesure de la fréquence de résonance à la charge  $f_L$  à la valeur nominale de  $C_L$  et la détermination de la capacité de charge efficace  $C_{Leff}$  à la fréquence nominale pour des résonateurs de facteur de mérite  $M > 4$ .

$M$ , conformément au Tableau 1 de la CEI 60122-1:2002, est exprimé dans l'équation suivante:

$$M = \frac{Q}{r} = \frac{1}{\omega C_0 R_1} \quad (1)$$

Cela donne de bons résultats dans une plage de fréquences pouvant atteindre 200 MHz. La présente méthode permet de calculer un décalage de fréquence de résonance à la charge  $\Delta f_L$ , la plage de décalage de fréquence  $\Delta f_L$ , et la sensibilité de fréquence relative  $S$  comme cela est décrit dans la CEI 60122-1:2002. Contrairement à la méthode simple de la CEI 60444-4, la présente technique de mesure évite l'utilisation de condensateurs de charge physiques et elle offre une précision supérieure, une meilleure reproductibilité et une corrélation avec l'application. Elle augmente la limite des fréquences supérieures de 30 MHz par la méthode de la CEI 60444-4 à approximativement 200 MHz. La présente méthode est fondée sur la technique des mesures avec correction des erreurs de la CEI 60444-5:1995, et permet donc la mesure de  $f_L$  et  $C_{Leff}$  ainsi que la détermination des paramètres des résonateurs équivalents en une séquence sans modifier le dispositif d'essai.

Avec cette méthode, on recherche la fréquence  $f_L$  pour laquelle la valeur de la réactance  $X_C$  du résonateur est opposée à la valeur de la réactance de la capacité de charge.

$$X_C = -X_{CL} = \frac{1}{\omega C_L} \quad (2)$$

En outre, cette méthode permet de déterminer la capacité de charge efficace  $C_{Leff}$  à la fréquence nominale  $f_{nom}$ .

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60122-1:2002, *Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité – Partie 1: Spécification générique*

CEI/TR 60444-4, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en  $\pi$  – Partie 4: Méthode pour la mesure de la fréquence de résonance à la charge  $f_L$  et de la résistance de résonance à la charge  $R_L$  et pour le calcul des autres valeurs dérivées des quartz piézoélectriques, jusqu'à 30 MHz*

*CEI 60444-5:1995, 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*