

NORME INTERNATIONALE

**Mesure des paramètres des résonateurs à quartz -
Partie 11: Méthode normalisée pour la détermination de la fréquence de
résonance avec capacité de charge f_L et de la capacité de charge effective C_{Leff} à
l'aide de techniques d'analyseur de réseau automatiques et de correction
d'erreur**

get full document from standards.iteh.ai



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2026 IEC, Geneva, Switzerland

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 Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

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 Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. 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 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Termes et définitions	6
4 Concepts généraux.....	6
4.1 Fréquences de résonance avec capacité de charge f_{Lr} et f_{La}	6
4.2 Capacité de charge efficace C_{Leff}	7
5 Plan de référence et conditions d'essai.....	8
5.1 Généralités	8
5.2 Principe de mesure	8
5.3 Évaluation des erreurs	12
5.3.1 Observations générales	12
5.3.2 Précision de la mesure	12
5.3.3 Reproductibilité	13
5.3.4 Comparaison avec la méthode manuelle.....	15
5.3.5 Limites.....	15
Annexe A (informative) Méthode de mesure manuelle de la fréquence de résonance avec capacité de charge f_L et de la résistance de résonance de charge R_L en utilisant la capacité de charge physique.....	16
A.1 Généralités	16
A.2 Circuit de mesure.....	16
A.2.1 Le circuit de mesure d'un système à réseau en π de phase zéro.....	16
A.2.2 Une description sommaire	16
A.2.3 Spécification du condensateur de charge	17
A.3 Méthode de mesure	17
A.3.1 Ajustement initial	17
A.3.2 Méthode de mesure de la fréquence et de la résistance de résonance de charge	17
A.4 Conception du condensateur de charge	17
A.4.1 Caractéristiques mécaniques.....	17
A.4.2 Insertion dans le réseau en π	18
A.4.3 Étalonage et mesure des condensateurs de charge	20
A.5 Erreurs de mesure	21
A.5.1 Généralités.....	21
A.5.2 Principales sources d'erreurs de mesure	21
A.5.3 Effets des caractéristiques fréquence/température de l'unité de cristal	22
A.5.4 Précision des mesures de fréquence	22
A.6 Analyse des erreurs.....	22
A.6.1 Erreur de mesure de la fréquence de résonance f_L	22
A.6.2 Erreur de mesure de la résistance de résonance de charge R_L	23
A.6.3 Erreurs de mesure de C_1	24
Bibliographie.....	27
Figure 1 – Admission d'une unité de cristal de quartz	7

Figure 2 – X_C en fonction de la fréquence (trait plein) au voisinage de f_L	10
Figure 3 – P_{eff} comme niveau d'entraînement d'un cristal dans un réseau en π en fonction de la fréquence dff/f_{nom}	11
Figure 4 – Erreur de fréquence de résonance avec capacité de charge due à l'imprécision des tensions mesurées (ligne pointillée) et des résistances d'étalonnage (ligne souple).....	13
Figure 5 – Erreur de la fréquence de résonance avec capacité de charge résultant de la variation du réglage C_L pour le même cristal que sur la Figure 4	13
Figure 6 – Erreur de la fréquence de résonance avec capacité de charge due au bruit de V_C comme tensions mesurées	14
Figure 7 – Erreur de la fréquence de résonance avec capacité de charge f_L à différentes valeurs de C_L pour les paramètres équivalents types d'unités de cristal de quartz	14
Figure A.1 – Condensateur de charge typique avec support.....	18
Figure A.2 – Méthode d'insertion du condensateur de charge dans le réseau en π	19
Figure A.3 – Schéma de circuit du réseau en π avec condensateur de charge C_L	20
Figure A.4 – Imprécision de la capacité de charge en fonction de la fréquence, pour une capacité de charge de 30 pF incluant l'imprécision de l'étalonnage et les effets de l'inductance résiduelle (situation la plus défavorable).....	22
Figure A.5 – Erreur de mesure relative de f_L par rapport à la sensibilité de traction du cristal pour différentes fréquences à une capacité de charge de 30 pF	23
Figure A.6 – Erreur de mesure relative de R_L en fonction de la fréquence, pour différentes valeurs de C_L	23
Figure A.7 – Erreur de mesure relative de C_1 en fonction de la fréquence	24
Figure A.8 – Erreur de mesure relative de C_1 en fonction de C_1 pour différentes erreurs de mesure de fréquence $C_0 = 5$ pF; $C_{L1} = 15$ pF; $C_{L2} = 30$ pF	25
Figure A.9 – Erreur de mesure relative de C_1 en fonction de C_1 pour différentes valeurs du facteur de qualité Q $C_0 = 3$ pF; $C_{L1} = 15$ pF ; $C_{L2} = 30$ pF	26

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**Mesure des paramètres des résonateurs à quartz -
Partie 11: Méthode normalisée pour la détermination de la fréquence
de résonance avec capacité de charge f_L et de la capacité de charge
effective C_{Leff} à l'aide de techniques d'analyseur de réseau
automatiques et de correction d'erreur**

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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en œuvre du présent document peut impliquer l'utilisation de brevet(s). La CEI ne prend pas position concernant la preuve, la validité ou l'applicabilité des droits de brevet revendiqués à cet égard. À la date de publication du présent document, la CEI n'avait pas reçu de notification de brevet(s) pouvant être exigé(s) pour la mise en œuvre du présent document. Cependant, les réalisateurs sont avertis que cela peut ne pas représenter les informations les plus récentes, qui peuvent être obtenues à partir de la base de données sur les brevets disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevet.

L'IEC 60444-11 a été établie par le comité d'études 49 de l'IEC: Dispositifs piézoélectriques, diélectriques et électrostatique et matériaux associés pour la détection, le choix et la commande de la fréquence. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) l'essentiel du contenu de l'IEC TR 60444-4 qui a été annulé est reproduit dans l'Annexe A;
- b) certaines formules de la première édition ont été corrigées.

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

Projet	Rapport de vote
49/1489/CDV	49/1515/RVC

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.

Ce document a été rédigé conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 2, et développé conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 1 et aux Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponible sur www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60444, publiées sous le titre général *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz*, se trouve 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 spécifique. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 60444 définit la méthode de mesure de la fréquence de résonance avec capacité de charge f_L utilisant des techniques d'analyseur de réseau automatique.

Dans le même temps, bien que l'IEC TR 60444-4 [8]¹ relative à la méthode de mesure manuelle ait été supprimée, l'essentiel du contenu de la méthode de mesure manuelle reste en tant qu'Annexe A pour plus de commodité pour l'utilisateur. Toutefois, en cas de litige, il convient d'utiliser la méthode normalisée décrite ci-dessous comme référence.

Le facteur de mérite M , selon le Tableau 1 de l'IEC 60122-1:2002, est exprimée dans la formule 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. Cette méthode permet de calculer le décalage de fréquence de résonance avec capacité de charge Δf_L , la plage de traction de fréquence Δf_{L1} , Δf_{L2} et la sensibilité de traction S comme décrit au 2.2.31 de l'IEC 60122-1:2002. Cette technique de mesure évite l'utilisation de condensateurs de charge physique et permet une plus grande précision, une meilleure reproductibilité et une corrélation à l'application. Elle étend la limite supérieure de fréquence de 30 MHz par la méthode manuelle à 200 MHz environ. Cette méthode est basée sur la technique de mesure corrigée par erreur de l'IEC 60444-5 [9] et permet donc la mesure de f_L et C_{Leff} ainsi que la détermination des paramètres cristallins équivalents dans 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.

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

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

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 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 $M > 4$.

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 60122-1:2002, *Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité - Partie 1: Spécification générique*
IEC 60122-1:2002/AMD1:2017

IEC 60444-1:1986, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en pi - Partie 1: Méthode fondamentale pour la mesure de la fréquence de résonance et de la résistance de résonance des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en pi*
IEC 60444-1:1986/AMD1:1999

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60122-1 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 <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

4 Concepts généraux

4.1 Fréquences de résonance avec capacité de charge f_{Lr} et f_{La}

Comme le montre la Figure 1, il y a deux fréquences d'intersection où $X_C = -X_{CL}$, f_{Lr} avec une forte admittance (faible impédance) et f_{La} avec une faible admittance (forte impédance).

La fréquence de résonance à la charge f_L est une des deux fréquences du résonateur à quartz associé à une capacité de charge série ou parallèle, pour laquelle l'admittance électrique (respectivement l'impédance) de la combinaison est résistive. La fréquence de résonance à la charge f_L est la plus basse des deux fréquences.

En première approximation, f_L peut être calculée par:

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} \quad (3)$$

