

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Measurement of quartz crystal unit parameters –
Part 9: Measurement of spurious resonances of piezoelectric crystal units**

**Mesure des paramètres des résonateurs à quartz –
Partie 9: Mesure des résonances parasites des résonateurs piézoélectriques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-9:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



IEC 60444-9

Edition 1.0 2007-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Measurement of quartz crystal unit parameters –
Part 9: Measurement of spurious resonances of piezoelectric crystal units**

**Mesure des paramètres des résonateurs à quartz –
Partie 9: Mesure des résonances parasites des résonateurs piézoélectriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-0881-6

**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.**

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT OF QUARTZ
CRYSTAL UNIT PARAMETERS –****Part 9: Measurement of spurious resonances
of piezoelectric crystal units**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 60444-9 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

This bilingual version (2013-08) corresponds to the monolingual English version, published in 2007-02.

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

FDIS	Report on voting
49/764/FDIS	49/774/RVD

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of 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 publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-9:2007

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 9: Measurement of spurious resonances of piezoelectric crystal units

1 Scope

This part of IEC 60444 describes two methods for determining the spurious (unwanted) modes of piezoelectric crystal resonators. It extends the capabilities and improves the reproducibility and accuracy compared to previous methods.

The previous methods described in IEC 60283 (1968) were based on the use of a measuring bridge, which applies to non-traceable components such as variable resistors and a hybrid transformer, which are no longer commercially available.

Method A (Full parameter determination)

Full parameter determination allows the determination of the equivalent parameters of the spurious resonances and is based on the methods described in IEC 60444-5 using the same measurement equipment. It is the preferred method, which can be applied to the measurement of low and medium impedance spurious resonances up to several k Ω .

Method B (Resistance determination)

Resistance determination should be used for the determination of high impedance spurious resonances as specified, for example for certain filter crystals. It uses the same test equipment as method A in conjunction with a test fixture, which consists of commercially available microwave components such as a 180° hybrid coupler and a 10 dB attenuator, which are well-defined in a 50 Ω environment. This method is an improvement to the “reference method” of the obsolete IEC 60283.

2 Overview

Piezoelectric crystal units show multiple resonances, which can be electrically represented by a parallel connection of a number of series resonant circuits. The one-port equivalent circuit of the complete crystal unit is shown in Figure 1 (taken from IEC 60444-5).

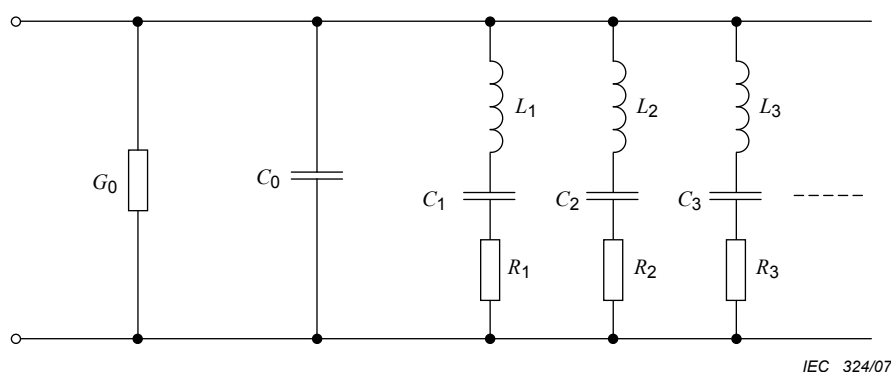


Figure 1 – General one-port equivalent circuit for multiple resonances

The total admittance Y_{tot} of the equivalent circuit for n resonance modes is therefore

$$Y_{\text{tot}} = G_0 + j\omega C_0 + \sum_i Y_i \quad (1)$$

with

$$Y_i = G_i + jB_i = \left(R_i + j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i} \right)^{-1} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

Index $i = 1$ represents the main mode, while $i = 2 \dots n$ represents the spurious resonance modes.

The spurious modes are regarded as uncoupled modes. Coupled modes can also be found by the described test methods, however their strong amplitude dependence does not allow for the precise determination of their parameters.

The attenuation a_{spur}^i of a spurious mode i , is defined as the logarithmic ratio (expressed in dB) of its resistance R_i to the resistance R_1 of the main mode:

$$a_{\text{spur}}^i = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{R_i}{R_1} \right) \quad (3)$$

Figure 2 shows a typical spectrum for the spurious resonances of an AT-cut quartz crystal unit as displayed on a spectrum analyzer using a π -network according to IEC 60444-1.

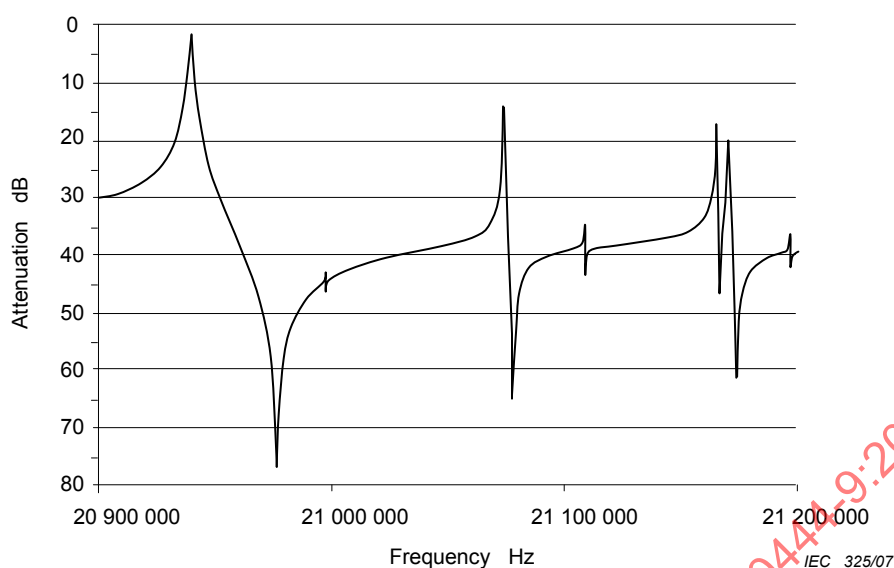


Figure 2 – Spectrum of spurious responses

NOTE The attenuation values measured on a network analyzer depend on the termination resistance of the test fixture used (e.g. $25\ \Omega$ for a π -network of IEC 60444-1). They are different from the spurious attenuation as computed from equation (3).

NOTE The frequencies and attenuation values measured on a network analyzer are different if the crystal resonator is connected to a load capacitor.

See also note under 3.2.1.2.

3 Measurement methods

The following measurement parameters are necessary and should be given in the detail specification:

- frequency range of the spurious resonances FR_{spur} to be evaluated;
- level of drive.

Care must be taken in selecting a suitable measurement (sweep) time.

3.1 Method A (Full parameter determination)

The measurement system consists of a π -network or an s-parameter test fixture in accordance with IEC 60444-1 and IEC 60444-5 in conjunction with a network analyzer or an equivalent setup.

The admittance of the crystal is measured within the specified frequency range FR_{spur} . The spurious resonances are isolated with the method of successive removal of resonances. From the admittance data, the equivalent circuit parameters of the various resonance modes are computed using one of the evaluation procedures described in IEC 60444-5.

3.1.1 Measurement procedure

The technique is described in more detail in [1]¹. The measurement sequence is as follows:

- a) measurement of the static capacitance C_0 as in IEC 60444-5;

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

- b) measurement of the main mode parameters ($i = 1$) as in IEC 60444-5, the resulting parameters are:

$$\text{series resonance frequency } f_s = f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$$

equivalent electrical parameters R_1 , C_1 , and L_1 , and

$$\text{quality factor } Q = Q_1 = \frac{\omega_1 L_1}{R_1} = \frac{1}{\omega_1 C_1 R_1} \quad (4)$$

- c) measurement of the complex admittance $Y_{\text{res}}(f)$ in the specified frequency range FR_{spur}

Measurement parameters:

Assuming

$$Q_2, Q_3, \dots, Q_n \approx Q_1 \quad (5)$$

the minimum settling time t_{set} for each frequency is:

$$t_{\text{set}} = \frac{Q_1}{\omega_1} \quad (6)$$

For at least two data points within the resonance bandwidth, the minimum number of data points N is

$$N = 2 \cdot \frac{FR_{\text{spur}}}{Q_1} \quad (7)$$

The minimum sweep time t_{swp} is then

$$t_{\text{swp}} = t_{\text{set}} \cdot N \quad (8)$$

NOTE If necessary the frequency sweep range FR_{spur} must be divided into several sub-intervals.

Resulting parameters:

The array of complex admittance $Y_{\text{res}}(f)$, expressed, for example as arrays for magnitude $|Y_{\text{res}}(j)|$, phase $\Phi_{\text{res}}(j)$ and frequency $f(j)$ with $j = 1, 2, \dots, N$ and $f(1) = f_1$, the frequency of the main mode.

Search for spurious resonance peaks

The search for spurious resonances requires several steps to distinguish the resonance peaks from noise peaks and from broadband responses.

See flowchart in Figure 3 for reference.

- Identify local maxima of $\text{Re}(Y_{\text{res}}(j))$ for neighbouring data points ($j-1, j, j+1$)

For the analysis the real part of the admittance is used.

$$\text{Re}(Y_{\text{res}}(j)) = |Y_{\text{res}}(j)| \cdot \cos(\Phi_{\text{res}}(j)) \quad (9)$$

For $j = 2 \dots N-1$ the admittance values are analysed as follows:

If

$$\text{Re}(Y_{\text{res}}(j)) > \text{Re}(Y_{\text{res}}(j-1)) \text{ and } \text{Re}(Y_{\text{res}}(j)) > \text{Re}(Y_{\text{res}}(j+1))$$

then

$f_{\text{peak}} = f(j)$ is a candidate for a spurious resonance peak.

- Distinguish between real peaks and fake peaks

Fake peaks due to noise, etc. can be identified by assuming a realistic Q -value for the spurious resonances with respect to Q_1 as determined in step b).

Upper limit $Q_{\max}$:

$$Q_{\max} = k_{\max} \cdot Q_1 \quad \text{with } k_{\max} = 2 \dots 10 \text{ (recommended: } k_{\max} = 5) \quad (10)$$

The minimum 3 dB half-bandwidth $BW_{\min}$ for a spurious resonance peak is therefore

$$BW_{\min} = \frac{f_1}{2 \cdot Q_{\max}} \quad (11)$$

For each candidate for a spurious resonance peak, the data points next to $|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|$ are inspected. If the amplitude at each side is less than according to $Q_{\max}$:

$$\frac{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|}{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}} \pm BW_{\min})|} \leq \sqrt{2} \quad (12)$$

then this peak is still accepted as a candidate. Otherwise, the peak is considered as a fake.

Lower limit $Q_{\min}$:

$$Q_{\min} = k_{\min} \cdot Q_1 \quad \text{with } k_{\min} = 0,1 \dots 0,5 \text{ (recommended: } k_{\min} = 0,2) \quad (13)$$

The maximum 3 dB half-bandwidth $BW_{\max}$ for a spurious resonance peak is therefore

$$BW_{\max} = \frac{f_1}{2 \cdot Q_{\min}} \quad (14)$$

For each candidate for a spurious resonance peak, the data points next to $|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|$ are inspected. If the amplitude at each side is greater than according to $Q_{\max}$:

$$\frac{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|}{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}} \pm BW_{\max})|} \geq \sqrt{2} \quad (15)$$

then the selected peak is accepted as a true spurious resonance peak. Otherwise, the peak is considered as a fake.

Resulting parameters: $n-1$ spurious resonance frequencies f_m^i ($i = 2 \dots n$)

NOTE If the spurious resonances are very close to strong modes, it is recommended that a 1 dB instead of a 3 dB bandwidth is used. In the above equations, the term $\sqrt{2}$ must then be replaced by the factor 1,122, and the values for $BW_{\max}$ and $BW_{\min}$ must be changed accordingly.

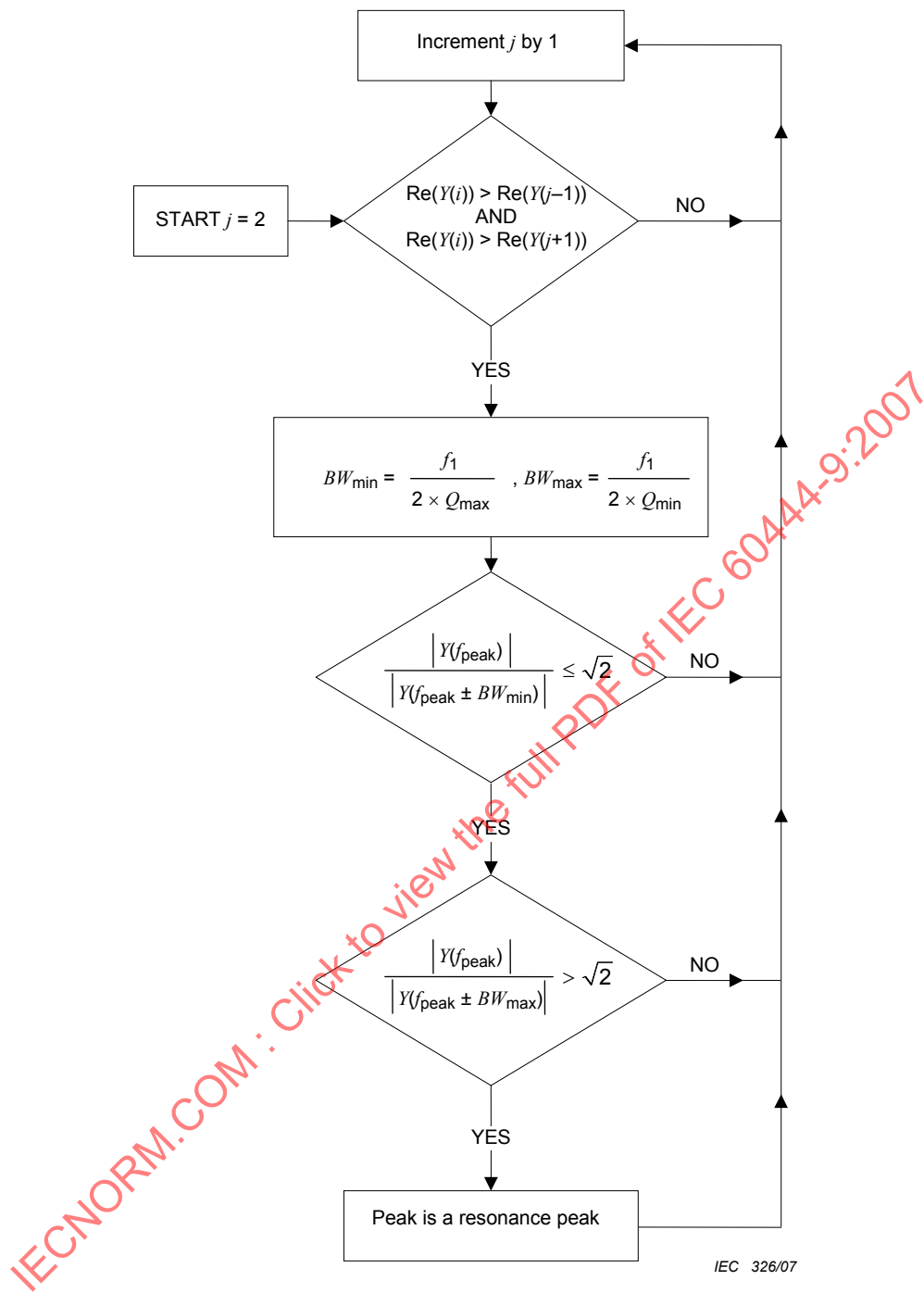


Figure 3 – Flowchart for spurious resonance search

d) zooming of the identified spurious resonances

For each of the true spurious peaks $f_{\text{spur}}(i)$ identified in step c) a new set of admittance data is taken by zooming the frequency intervals $f_{\text{spur}}(i) \pm BW_{\text{max}}$ with at least $N_i = 11$ data points per sweep interval and a minimum sweep time t_{swp} of

$$t_{\text{swp}} \geq \frac{10 \cdot \sqrt{Q_{\text{min}} \cdot Q_{\text{max}}}}{k_{\text{min}} \cdot \omega_l} \quad (16)$$

Resulting parameters:

Arrays of admittances for each spurious resonance $Y_{\text{raw}}^i(f)$, expressed by the arrays of amplitude $|Y_{\text{res}}^i(j)|$, phase $\arg(Y_{\text{res}}^i(j))$, and frequency $f^i(j)$ with $i = 2 \dots n$ and $j = 1 \dots 11$

- e) removal of the admittances of the main mode ($i = 1$) and of C_0

From each set of raw admittances $Y_{\text{raw}}^i(f)$ the contribution of the main mode and of the static capacitance C_0 are subtracted.

$$Y_{\text{res}}^i(f) = Y_{\text{raw}}^i(f) - Y_1(f) - Y_0(f) \quad (i = 2 \dots n) \quad (17)$$

with

$$Y_1(f) = \left(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right)^{-1} \quad (18)$$

$$Y_0(f) = j\omega C_0 \quad (19)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (20)$$

Resulting parameters:

Arrays of admittances for each spurious resonance $Y_{\text{res}}^i(f)$, expressed by the arrays of amplitude $|Y_{\text{res}}^i(j)|$, phase $\arg(Y_{\text{res}}^i(j))$, and frequency $f^i(j)$ with $i = 2 \dots n$ and $j = 1 \dots 11$

- f) Calculation of the series resonance frequency and the equivalent parameters of the strongest (remaining) mode

The strongest (remaining) mode is selected. This is the k^{th} mode, in which the maximum value of the real part given by

$$\max \left(\operatorname{Re} \left(Y_{\text{res}}^i(f) \right) \right)$$

is largest.

Calculation for the series resonance frequency f_s^k , the motional parameters R_k , C_k , and L_k , and the Q -factor Q_k from $Y_{\text{res}}^k(f)$ are given in IEC 60444-5.

Resulting parameters:

Series resonance frequency f_s^k , motional parameters R_k , C_k , L_k , and Q_k of strongest (remaining) mode.

NOTE If the settling time computed from

$$t_{\text{set}}^k = \frac{Q_k}{2\pi f_s^k} \quad (21)$$

is larger than $\frac{t_{\text{swp}}}{N_1}$ (see equation (16)), then the measurement of that spurious mode must be repeated with an accordingly corrected sweep time.

- g) Removal of the evaluated spurious resonance

From all remaining sets of admittances $Y_{\text{res}}^i(f)$ the contribution of the k^{th} spurious mode evaluated in f) is subtracted.

$$Y_{\text{res}}^i(f) := Y_{\text{res}}^i(f) - Y_k(f) \quad (i = 2 \dots n, i \neq k) \quad (22)$$

with

$$Y_k(f) = \left(R_k + j\omega L_k + \frac{1}{j\omega C_k} \right)^{-1} \quad (23)$$

and $Y_{\text{res}}^i(f)$ is replaced by the result of the next iteration.

h) Continue with step g) for all remaining spurious resonance

i) Evaluation of the validity of the analysis (optional)

From the parameters of all determined spurious resonance modes and the main mode the total admittance Y_{tot} can be computed as

$$Y_{\text{tot}}(f) = \sum_{i=1}^n \left(R_i + j2\pi f L_i + \frac{1}{j2\pi f C_i} \right)^{-1} + j2\pi f C_0 \quad (24)$$

and compared with the admittance $Y_{\text{res}}(f)$ measured in step c).

From the normalized sum of error squares a measure of the quality of data fitting can be derived.

NOTE As all resonances can influence each other, the sum of error squares can be minimized further by variation of the parameters C_0 , $f(i)$, R_i , C_i and L_i with $i = 1 \dots n$.

3.2 Method B (Resistance determination)

The measurement system consists of the same equipment setup as described in IEC 60444-5, but uses a different test fixture, which consists of a 50 Ω , 180° hybrid coupler, a 10 dB attenuator and a variable balancing capacitor. All parts are commercially available components.

Figure 4 shows the electrical circuit diagram of the test fixture. XUT is the crystal under test, C_{bal} is a variable capacitor of 1 ~ 10 pF range. The 50 Ω , 10 dB attenuator is a device having the lowest possible VSWR in the measurement frequency range, which is commercially available from a number of sources. The 180° hybrid coupler (or “two-way 0°/180° power splitter/combiner”) is a commercially available device with 50 Ω termination, suitable for the frequency range to be measured. Example: type PSCJ2-1 (Mini-Circuits Laboratory, Brooklyn, N.Y.) for 1 MHz up to 200 MHz.

The mechanical layout of the test fixture must take into account the principles of RF engineering with low stray capacitances and good shielding between input and output.

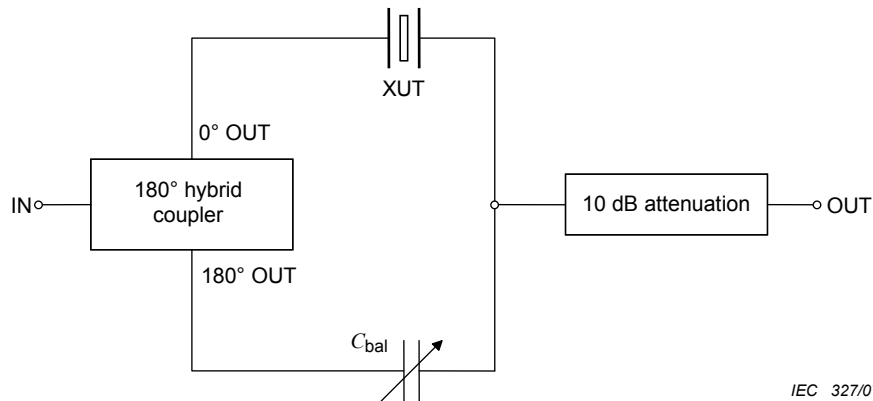


Figure 4 – Electrical diagram of the test fixture for method B

NOTE For automatic operation the variable capacitor can be replaced by two varactor diodes of suitable C(V) characteristics, which are connected in anti-series and biased accordingly.

3.2.1 Measurement procedure

3.2.1.1 Initial calibration

The RF output level of the generator at the input port must be adjusted so that the maximum drive level specified is not exceeded.

- Short
Insert a short at the XUT ports. Set C_{bal} to its minimum capacitance value.
Read complex output voltage U_s
- “Open” balancing
Insert a small capacitor C_{open} of about 2 pF to 5 pF at the XUT port, set C_{bal} to minimum and read complex output voltage U_0 . The output amplitude should be at least 60 dB lower than the short-circuit output voltage

$$20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|U_s|}{|U_0|} \right) \geq 60 \quad (25)$$

- Reference
Add a reference resistor R_{ref} of 50 Ω or 100 Ω at the XUT port in parallel to C_{open} .
Read complex output voltage U_{ref} .
From the complex output voltages U_s and U_{ref} compute the (complex) fixture impedance R_T

$$R_T = \frac{R_{ref}}{\left(\frac{U_s}{U_{ref}} - 1 \right)} \quad (26)$$

$|R_T|$ should be in the order of 100 $\Omega \pm 10 \%$

NOTE In the following, evaluations of the phase measurements are disregarded, only the amplitude measurements are considered.

3.2.1.2 Response measurement

– Initial balancing

With the crystal unit under test inserted, set the sweep frequency range to about ± 500 kHz or wider. Tune the variable capacitor C_{bal} for an overall symmetric response shape as depicted in Figure 5.

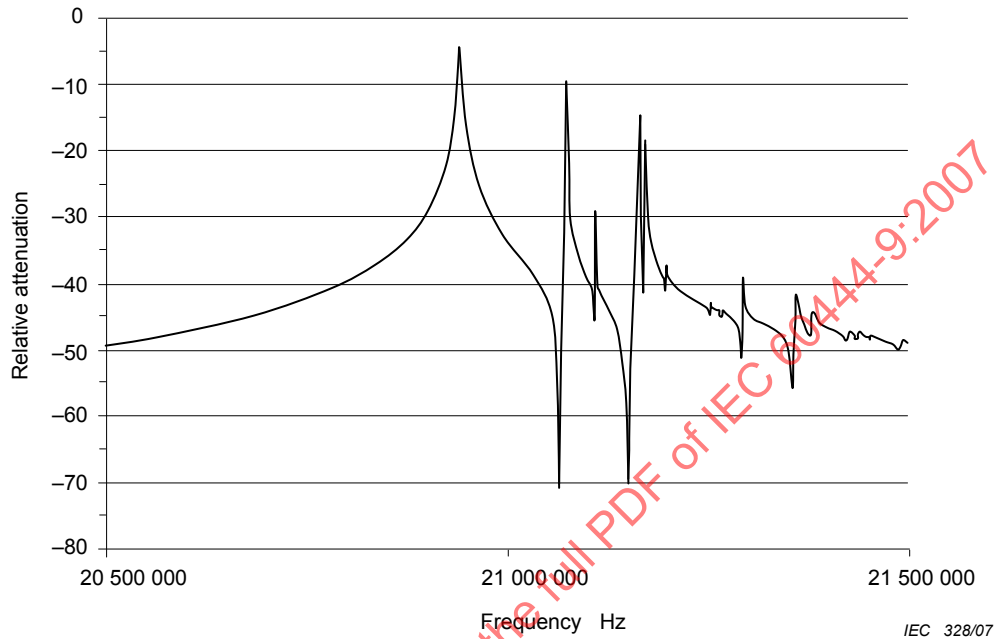


Figure 5 – Balanced setting of C_{bal} yields a symmetric frequency response

– Measurement with visual aid

Scan the specified frequency range FR_{spur} . The sweep time should be as derived in equations (6) to (8). Inspect visually the amplitude spectrum of spurious resonance peaks. For more accurate evaluation, the frequency range of individual spurious responses may be zoomed on the display. The sweep time of the sub-intervals should also be according to equation (8).

a) Strong spurious resonance modes

For spurious resonance peaks which are well-separated from adjacent responses, and which are at least 20 dB above the bottom line, the (maximum admittance) frequency f_m^i is located at the peak voltage U_m^i and the (maximum admittance) resistance R_m^i can be evaluated as

$$R_m^i = R_T \cdot \left(\frac{U_S}{U_m^i} - 1 \right) \quad (27)$$

If the amplitude is given as attenuation in dB relative to the reference calibration with R_{ref} , then the (maximum admittance) resistance R_m^i is determined from a_{ref}^i as

$$R_m^i = 10^{\frac{a_{ref}^i}{20}} \cdot (R_T + R_{ref}) - R_T \quad (28)$$

In most cases it is sufficient to use the magnitude values of R_T , U_S and U_m^i instead of their complex values.

b) Weak spurious resonance modes

For weak spurious resonance modes, which show a differential response of less than 20 dB in the initial balance setting, the setting of C_{bal} has to be modified. Tune C_{bal} in such a way that the bottom line around the considered spurious resonance peak is shifted to a minimum value. The two sides of the peak response should then have a symmetrical shape as shown in Figure 6. This rebalancing of C_{bal} eliminates capacitive or inductive influences of neighbouring resonance modes (both main and spurious).

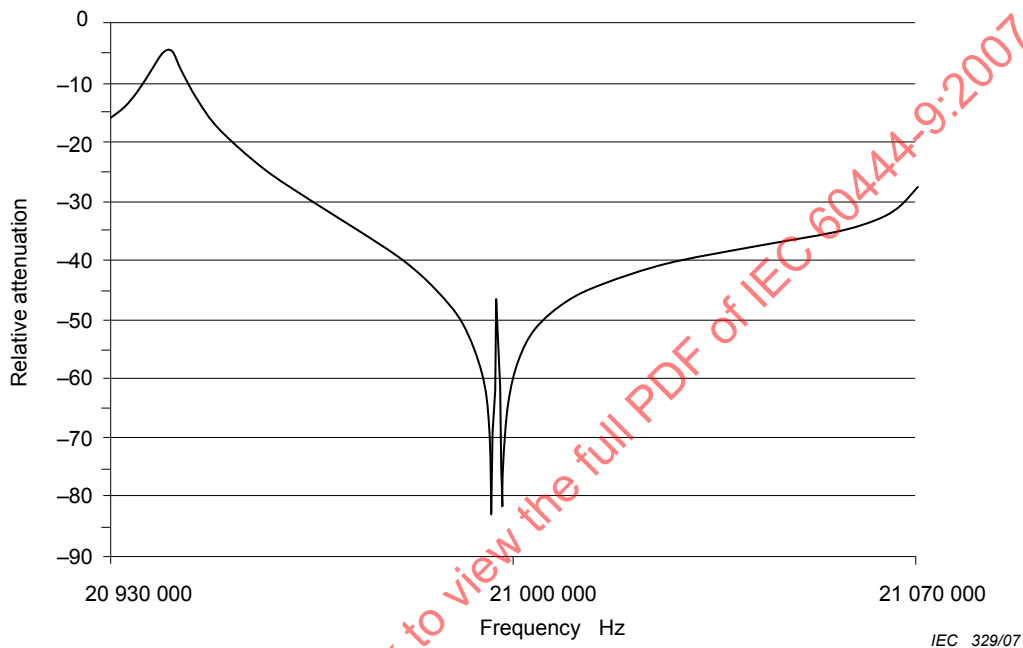


Figure 6 – Setting of C_{bal} for a weak spurious mode

The (maximum admittance) frequency f_m^i of the spurious resonance mode is located at the peak voltage U_m^i and the (maximum admittance) resistance R_m^i can be evaluated from equation (27) or (28).

NOTE The attenuation of the spurious resonance peak with respect to the main mode, which is observed on the test equipment is given by

$$a_{meas}^i = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{R_i + |R_T|}{R_l + |R_T|} \right) \quad (29)$$

This value is different from the spurious attenuation as defined in equation (3), as can be seen by direct comparison.

Bibliography

- [1] NEUBIG B.W., *Recent Advances In The Measurement of Spurious Resonances Of Crystal Units*, Proc. Of the 9th European Frequency and Time Forum (EFTF), Besançon, pp.469-472 (1995)
- [2] SCHULZKE L. *Private communication*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-9:2007

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 9: Mesure des résonances parasites des résonateurs piézoélectriques

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 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 60444-9 a été établie par le comité d'études 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

La présente version bilingue (2013-08) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2007-02.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 49/764/FDIS et 49/774/RVD.

Le rapport de vote 49/774/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60444, publiées sous le titre général: *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz*, est disponible sur site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-9:2007

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 9: Mesure des résonances parasites des résonateurs piézoélectriques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60444 décrit deux méthodes pour déterminer les modes parasites (non désirés) des résonateurs piézoélectriques. Elle étend les possibilités et améliore la reproductibilité et la précision par rapport aux méthodes précédentes.

Les méthodes précédentes décrites dans la CEI 60283 (1968) étaient basées sur l'utilisation d'un pont de mesure, qui s'applique aux composants non traçables tels que des résistances variables et un transformateur hybride, qui ne sont plus disponibles dans le commerce.

Méthode A (Détermination de tous les paramètres)

La détermination de tous les paramètres permet la détermination des paramètres équivalents des résonances parasites et est basée sur les méthodes décrites dans la CEI 60444-5 utilisant le même matériel de mesure. C'est la méthode préférentielle, qui peut être appliquée à la mesure de résonances parasites de basse et moyenne impédance jusqu'à plusieurs $k\Omega$.

Méthode B (Détermination de la résistance)

Il convient d'utiliser la détermination de la résistance pour déterminer les résonances parasites d'impédance élevée comme spécifié, par exemple pour certains quartz de filtres. Elle utilise le même matériel d'essai que la méthode A avec un montage d'essai composé de composants hyperfréquences disponibles dans le commerce tels qu'un coupleur hybride 180° et un atténuateur de 10 dB, qui sont bien définis dans un environnement de 50Ω . Cette méthode est une amélioration de la "méthode de référence" de la CEI 60283 obsolète.

2 Présentation

Les résonateurs piézoélectriques présentent plusieurs résonances qui peuvent être représentées électriquement par une connexion en parallèle d'un certain nombre de circuits résonnants série. Le circuit équivalent à un seul port du résonateur complet est représenté à la Figure 1 (provenant de la CEI 60444-5).

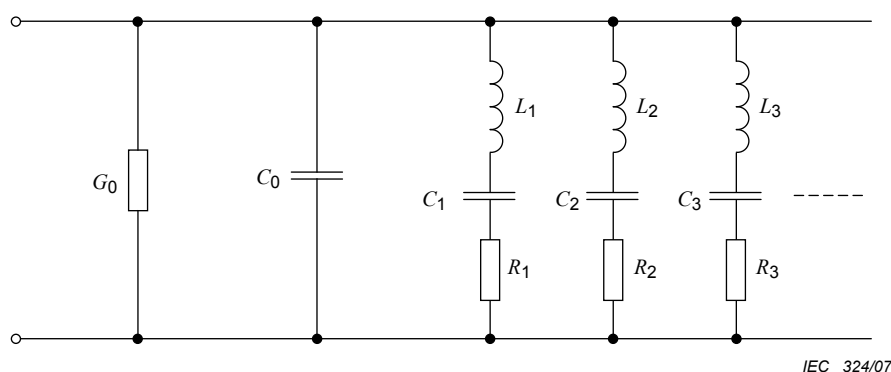


Figure 1 – Circuit équivalent à un port pour plusieurs résonances

L'admittance totale Y_{tot} du circuit équivalent pour n modes de résonance est donc

$$Y_{\text{tot}} = G_0 + j\omega C_0 + \sum_i Y_i \quad (1)$$

avec

$$Y_i = G_i + jB_i = \left(R_i + j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i} \right)^{-1} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

L'indice $i = 1$ représente le mode principal, alors que $i = 2 \dots n$ représente les modes de résonances parasites.

Les modes parasites sont considérés comme des modes non couplés. Des modes couplés peuvent également être trouvés par les méthodes d'essai décrites, toutefois leur forte dépendance à l'amplitude ne permet pas de déterminer précisément leurs paramètres.

L'affaiblissement a_{spur}^i , d'un mode parasite i , est défini comme le rapport logarithmique (exprimé en dB) entre sa résistance R_i et la résistance R_1 du mode principal:

$$a_{\text{spur}}^i = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{R_i}{R_1} \right) \quad (3)$$

La Figure 2 représente un spectre typique de résonances parasites d'un résonateur à quartz de coupe AT tel qu'il est affiché sur un analyseur de spectre utilisant un réseau en π conformément à la CEI 60444-1.

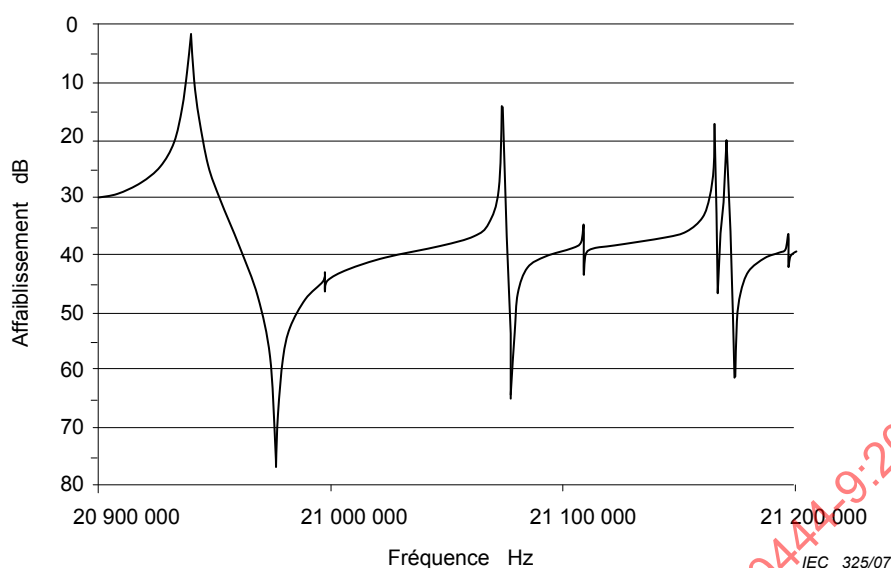


Figure 2 – Spectre des réponses parasites

NOTE Les valeurs d'affaiblissement mesurées sur un analyseur de réseau dépendent de la résistance de sortie du montage d'essai utilisé (par exemple 25 Ω pour un réseau en π de la CEI 60444-1). Elles sont différentes des valeurs d'affaiblissement parasite calculées dans l'équation (3).

NOTE Les fréquences et les valeurs d'affaiblissement mesurées sur un analyseur de réseau sont différentes si le résonateur à quartz est connecté à un condensateur de charge.

Voir également la note de 3.2.1.2.

3 Méthodes de mesure

Les paramètres de mesure suivants sont nécessaires et il convient qu'ils soient donnés dans la spécification particulière:

- gamme de fréquences des résonances parasites FR_{spur} à évaluer;
- niveau d'excitation.

Il faut choisir avec soin un temps de mesure approprié (balayage).

3.1 Méthode A (Détermination de tous les paramètres)

Le système de mesure est constitué d'un réseau en π ou d'un montage d'essai des paramètres s selon la CEI 60444-1 et la CEI 60444-5 ainsi que d'un analyseur de réseau ou un montage équivalent.

L'admittance du quartz est mesurée à l'intérieur de la gamme de fréquences spécifiée FR_{spur} . Les résonances parasites sont isolées avec la méthode de suppression successive des résonances. A partir des données d'admittance, les paramètres des circuits équivalents des différents modes de résonance sont calculés en utilisant une des procédures d'évaluation décrites dans la CEI 60444-5.

3.1.1 Procédure de mesure

La technique est décrite de manière plus détaillée en [1]¹. La séquence de mesure est la suivante:

¹ Les nombres entre crochets renvoient à la bibliographie.

- a) mesure de la capacité statique C_0 comme dans la CEI 60444-5;
 b) mesure des paramètres du mode principal ($i = 1$) comme dans la CEI 60444-5, les paramètres résultants sont:

$$\text{fréquence de résonance série } f_s = f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$$

paramètres électriques équivalents R_1 , C_1 , et L_1 , et

$$\text{facteur de qualité } Q = Q_1 = \frac{\omega_1 L_1}{R_1} = \frac{1}{\omega_1 C_1 R_1} \quad (4)$$

- c) mesure de l'admittance complexe $Y_{\text{res}}(f)$ dans la gamme de fréquences spécifiée FR_{spur}

Paramètres de mesure:

On suppose que

$$Q_2, Q_3, \dots, Q_n \approx Q_1 \quad (5)$$

le temps d'établissement minimal t_{set} pour chaque fréquence est:

$$t_{\text{set}} = \frac{Q_1}{\omega_1} \quad (6)$$

Pour au moins deux points de données à l'intérieur de la largeur de bande de résonance, le nombre minimal de points de données N est

$$N = 2 \cdot \frac{FR_{\text{spur}}}{Q_1} \quad (7)$$

Le temps de balayage minimal t_{swp} est alors

$$t_{\text{swp}} = t_{\text{set}} \cdot N \quad (8)$$

NOTE Si nécessaire, la gamme de balayage de fréquences FR_{spur} doit être divisée en plusieurs intervalles secondaires.

Paramètres résultants:

La matrice d'admittance complexe $Y_{\text{res}}(f)$, exprimée par exemple sous la forme de matrices pour l'amplitude $|Y_{\text{res}}(j)|$, la phase $\Phi_{\text{res}}(j)$ et la fréquence $f(j)$, avec $j = 1, 2, \dots, N$ et $f(1) = f_1$, la fréquence du mode principal.

Recherche des crêtes de résonance parasite

La recherche de résonances parasites nécessite plusieurs étapes pour distinguer les crêtes de résonance des crêtes de bruit et des réponses de bande large.

Voir l'organigramme de la Figure 3.

- Identifier les maxima locaux de $\text{Re}(Y_{\text{res}}(j))$ pour les points de données voisins ($j-1, j, j+1$)

Pour l'analyse, on utilise la partie réelle de l'admittance.

$$\text{Re}(Y_{\text{res}}(j)) = |Y_{\text{res}}(j)| \cdot \cos(\Phi_{\text{res}}(j)) \quad (9)$$

Pour $j = 2 \dots N-1$, les valeurs d'admittance sont analysées comme suit:

Si

$$\text{Re}(Y_{\text{res}}(j)) > \text{Re}(Y_{\text{res}}(j-1)) \text{ et } \text{Re}(Y_{\text{res}}(j)) > \text{Re}(Y_{\text{res}}(j+1))$$

alors

$f_{\text{peak}} = f(j)$ est un candidat pour une crête de résonance parasite.

- Distinguer les vraies crêtes des fausses crêtes

Les fausses crêtes dues au bruit, etc., peuvent être identifiées en supposant une valeur de Q réaliste pour les résonances parasites en ce qui concerne Q_1 comme cela est déterminé à l'étape b).

Limite supérieure $Q_{\max}$:

$$Q_{\max} = k_{\max} \cdot Q_1 \quad \text{avec } k_{\max} = 2 \dots 10 \quad (\text{recommandée: } k_{\max} = 5) \quad (10)$$

La demi-largeur de bande minimale à 3 dB, $BW_{\min}$, pour une crête de résonance parasite est donc

$$BW_{\min} = \frac{f_1}{2 \cdot Q_{\max}} \quad (11)$$

Pour chaque candidat à une crête de résonance parasite, les points de données proches de $|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|$ sont inspectés. Si l'amplitude de chaque côté est inférieure à la valeur selon $Q_{\max}$:

$$\frac{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|}{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}} \pm BW_{\min})|} \leq \sqrt{2} \quad (12)$$

alors cette crête est toujours acceptée comme candidat. Sinon, la crête est considérée comme fausse.

Limite inférieure $Q_{\min}$:

$$Q_{\min} = k_{\min} \cdot Q_1 \quad \text{avec } k_{\min} = 0,1 \dots 0,5 \quad (\text{recommandée: } k_{\min} = 0,2) \quad (13)$$

La demi-largeur de bande maximale à 3 dB, $BW_{\max}$, pour une crête de résonance parasite est donc

$$BW_{\max} = \frac{f_1}{2 \cdot Q_{\min}} \quad (14)$$

Pour chaque candidat à une crête de résonance parasite, les points de données proches de $|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|$ sont inspectés. Si l'amplitude de chaque côté est supérieure à la valeur selon $Q_{\max}$:

$$\frac{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}})|}{|Y_{\text{res}}(f_{\text{peak}} \pm BW_{\max})|} \geq \sqrt{2} \quad (15)$$

alors la crête sélectionnée est acceptée comme une vraie crête de résonance parasite. Sinon, la crête est considérée comme fausse.

Paramètres résultants: $n-1$ fréquences de résonance parasite f_m^i ($i = 2 \dots n$)

NOTE Si les résonances parasites sont très proches des modes forts, il est recommandé d'utiliser une largeur de bande d'1 dB au lieu de 3 dB. Dans les équations ci-dessus, le terme $\sqrt{2}$ doit alors être remplacé par le facteur 1,122, et les valeurs pour $BW_{\max}$ et $BW_{\min}$ doivent être modifiées en conséquence.

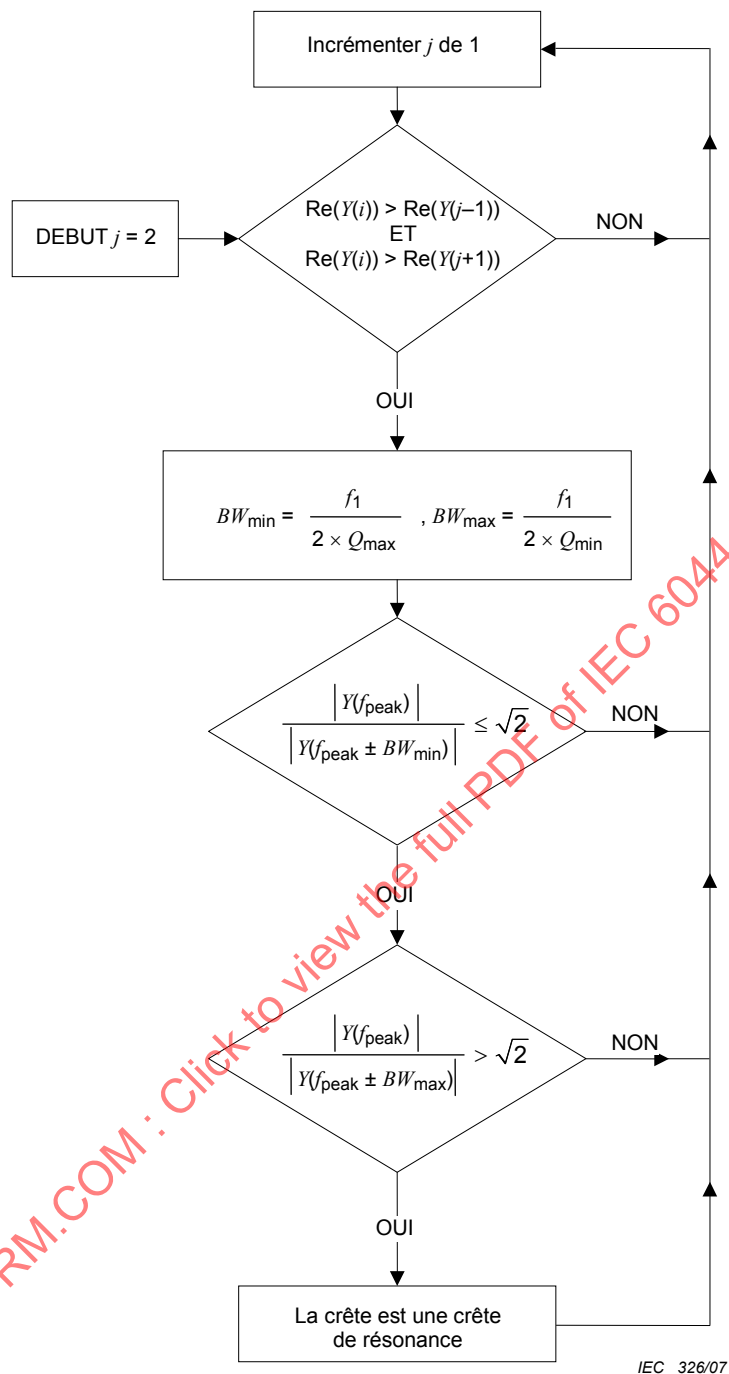


Figure 3 – Organigramme de recherche de résonances parasites

d) zoom des résonances parasites identifiées

Pour chacune des vraies crêtes parasites $f_{spur(i)}$ identifiée à l'étape c), un nouvel ensemble de données d'admittance est pris en zoomant les intervalles de fréquences $f_{spur(i)} \pm BW_{max}$ avec au moins $N_i = 11$ points de données par intervalle de balayage et un temps de balayage minimal t_{swp} tel que

$$t_{swp} \geq \frac{10 \cdot \sqrt{Q_{min} \cdot Q_{max}}}{k_{min} \cdot \omega_1} \quad (16)$$

Paramètres résultants:

Les matrices d'admittances pour chaque résonance parasite $Y_{\text{raw}}^i(f)$, exprimées par les matrices d'amplitude $|Y_{\text{res}}^i(j)|$, de phase $\arg(Y_{\text{res}}^i(j))$ et de fréquence $f^i(j)$ avec $i = 2 \dots n$ et $j = 1 \dots 11$

- e) suppression des admittances du mode principal ($i = 1$) et de C_0

On soustrait de chaque ensemble d'admittances brutes $Y_{\text{raw}}^i(f)$, la contribution du mode principal et de la capacité statique C_0 .

$$Y_{\text{res}}^i(f) = Y_{\text{raw}}^i(f) - Y_1(f) - Y_0(f) \quad (i = 2 \dots n) \quad (17)$$

avec

$$Y_1(f) = \left(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right)^{-1} \quad (18)$$

$$Y_0(f) = j\omega C_0 \quad (19)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (20)$$

Paramètres résultants:

Les matrices d'admittances pour chaque résonance parasite $Y_{\text{res}}^i(f)$, exprimées par les matrices d'amplitude $|Y_{\text{res}}^i(j)|$, de phase $\arg(Y_{\text{res}}^i(j))$ et de fréquence $f^i(j)$ avec $i = 2 \dots n$ et $j = 1 \dots 11$

- f) calcul de la fréquence de résonance série et des paramètres équivalents du mode le plus fort (restant)

Le mode le plus fort (restant) est sélectionné. Il s'agit du $k^{\text{ème}}$ mode, dans lequel la valeur maximale de la partie réelle donnée par

$$\max \left(\text{Re} \left(Y_{\text{res}}^i(f) \right) \right)$$

est la plus grande.

Calcul pour la fréquence de résonance série f_s^k , les paramètres dynamiques R_k , C_k et L_k , et le facteur Q , Q_k , de $Y_{\text{res}}^k(f)$ sont donnés dans la CEI 60444-5.

Paramètres résultants:

Fréquence de résonance série f_s^k , paramètres dynamiques R_k , C_k , L_k , et Q_k du mode le plus fort (restant).

NOTE Si le temps d'établissement calculé à partir de

$$t_{\text{set}}^k = \frac{Q_k}{2\pi f_s^k} \quad (21)$$

est supérieur à $\frac{t_{\text{swp}}}{N_i}$ (voir équation (16)), alors la mesure de ce mode parasite doit être répétée avec un temps de balayage corrigé en conséquence.

- g) suppression de la résonance parasite évaluée

On soustrait de tous les ensembles d'admittances $Y_{\text{res}}^i(f)$, la contribution du $k^{\text{ème}}$ mode parasite évalué en f).

$$Y_{\text{res}}^i(f) := Y_{\text{res}}^i(f) - Y_k(f) \quad (i = 2 \dots n, i \neq k) \quad (22)$$

avec

$$Y_k(f) = \left(R_k + j\omega L_k + \frac{1}{j\omega C_k} \right)^{-1} \quad (23)$$

et $Y_{\text{res}}^i(f)$ est remplacé par le résultat de l'itération suivante.

h) continuer avec l'étape g) pour toutes les résonances parasites restantes

i) évaluation de la validité de l'analyse (facultative)

A partir des paramètres de tous les modes de résonance parasite déterminés et du mode principal, l'admittance totale Y_{tot} peut être calculée par

$$Y_{\text{tot}}(f) = \sum_{i=1}^n \left(R_i + j2\pi f L_i + \frac{1}{j2\pi f C_i} \right)^{-1} + j2\pi f C_0 \quad (24)$$

et comparée à l'admittance $Y_{\text{res}}(f)$ mesurée à l'étape c).

A partir de la somme normalisée des carrés des erreurs, on peut obtenir une mesure de la qualité de l'adaptation des données.

NOTE Puisque toutes les résonances peuvent s'influencer entre elles, la somme des carrés des erreurs peut être encore minimisée en faisant varier les paramètres $C_0, f(i), R_i, C_i$ et L_i avec $i = 1 \dots n$.

3.2 Méthode B (détermination de la résistance)

Le montage du système de mesure est le même que celui décrit dans la CEI 60444-5, mais il utilise un montage d'essai différent, constitué d'un coupleur hybride 50 Ω , 180°, d'un atténuateur du 10 dB et un condensateur d'équilibrage variable. Toutes les parties sont des composants disponibles dans le commerce.

La Figure 4 représente le schéma de circuit électrique du montage d'essai. XUT est le quartz en essai, C_{bal} est le condensateur variable de capacité dans la gamme de 1 à 10 pF. L'atténuateur 50 Ω , 10 dB est un dispositif dont le rapport d'ondes stationnaires est le plus bas possible dans la gamme des fréquences de mesure, disponible chez plusieurs fournisseurs. Le coupleur hybride 180° (ou un séparateur/combinateur bidirectionnel 0°/180°) est un dispositif disponible dans le commerce avec une sortie 50 Ω , approprié pour la gamme de fréquences à mesurer. Exemple: type PSCJ2-1 (Mini-Circuits Laboratory, Brooklyn, N.Y.) pour 1 MHz à 200 MHz.

La disposition mécanique du montage d'essai doit tenir compte des principes de la technologie RF avec de basses capacités parasites et un bon blindage entre l'entrée et la sortie.