

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Quartz crystal units of assessed quality –
Part 1: Generic specification**

**Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité –
Partie 1: Spécification générique**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 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 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 Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 online and once a month by email.

IEC 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: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Quartz crystal units of assessed quality –
Part 1: Generic specification**

**Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité –
Partie 1: Spécification générique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-7597-9

**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.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60122-1:2002+AMD1:2017 CSV

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



**Quartz crystal units of assessed quality –
Part 1: Generic specification**

**Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité –
Partie 1: Spécification générique**

CONTENTS

FOREWORD	5
1 General	7
1.1 Scope	7
1.2 Normative references	7
1.3 Order of precedence	8
2 Terminology and general requirements	9
2.1 General	9
2.2 Terms, definitions and classification of phenomena	9
2.3 Preferred ratings and characteristics	22
2.3.1 Temperature ranges in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$) suitable for ambient operation	22
2.3.2 Elevated temperature ranges in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$) suitable for oven control	23
2.3.3 Frequency tolerance (1×10^{-6})	23
2.3.4 Circuit conditions	23
2.3.5 Levels of drive	23
2.3.6 Drive level dependency	24
2.3.7 Climatic category	24
2.3.8 Bump severity	24
2.3.9 Vibration severity	24
2.3.10 Shock severity	24
2.3.11 Leak rate	25
2.4 Marking	25
3 Quality assessment procedures	25
3.1 Primary stage of manufacture	25
3.2 Structurally similar components	25
3.3 Subcontracting	25
3.4 Manufacturer's approval	26
3.5 Approval procedures	26
3.5.1 General	26
3.5.2 Capability approval	26
3.5.3 Qualification approval	26
3.6 Procedures for capability approval	26
3.6.1 General	26
3.6.2 Eligibility for capability approval	27
3.6.3 Application for capability approval	27
3.6.4 Granting of capability approval	27
3.6.5 Capability manual	27
3.7 Procedures for qualification approval	27
3.7.1 General	27
3.7.2 Eligibility for qualification approval	27
3.7.3 Application for qualification approval	27
3.7.4 Granting of qualification approval	27
3.7.5 Quality conformance inspection	27
3.8 Test procedures	27

3.9	Screening requirements	27
3.10	Rework and repair work.....	28
3.10.1	Rework.....	28
3.10.2	Repair work.....	28
3.11	Certified records of released lots.....	28
3.12	Validity of release.....	28
3.13	Release for delivery	28
3.14	Unchecked parameters.....	28
4	Test and measurement procedures.....	28
4.1	General.....	28
4.2	Alternative test methods	28
4.3	Precision of measurement.....	29
4.4	Standard conditions for testing	29
4.5	Visual inspection	29
4.5.1	Visual test A.....	29
4.5.2	Visual test B.....	29
4.5.3	Visual test C.....	29
4.6	Dimensioning and gauging procedures	30
4.6.1	Dimensions, test A	30
4.6.2	Dimensions, test B	30
4.7	Electrical test procedures	30
4.7.1	Frequency and resonance resistance	30
4.7.2	Drive level dependency	30
4.7.3	Frequency and resonance resistance as a function of temperature	30
4.7.4	Unwanted responses	31
4.7.5	Shunt capacitance	31
4.7.6	Load resonance frequency and resistance.....	31
4.7.7	Frequency pulling range (f_{L1} , f_{L2})	31
4.7.8	Motional parameters	31
4.7.9	Insulation resistance.....	32
4.8	Mechanical and environmental test procedures	32
4.8.1	Robustness of terminations (destructive)	32
4.8.2	Sealing tests (non-destructive)	32
4.8.3	Soldering (solderability and resistance to soldering heat) (destructive)	34
4.8.4	Rapid change of temperature, two-fluid bath method (non-destructive)	34
4.8.5	Rapid change of temperature with prescribed time of transition (non-destructive)	34
4.8.6	Bump (destructive)	34
4.8.7	Vibration (destructive)	35
4.8.8	Shock (destructive).....	35
4.8.9	Free fall (destructive)	35
4.8.10	Acceleration, steady state (non-destructive)	35
4.8.11	Dry heat (non-destructive)	35
4.8.12	Damp heat, cyclic (destructive).....	35
4.8.13	Cold (non-destructive)	36
4.8.14	Climatic sequence (destructive).....	36
4.8.15	Damp heat, steady state (destructive).....	36
4.8.16	Immersion in cleaning solvents (non-destructive).....	36

4.9	Endurance test procedure	36
4.9.1	Standard ageing ~~(non-destructive)~~ test for production verification	36
4.9.2	Accelerated aging	37
4.9.3	Reference aging test	38
4.9.24.9.4	Extended ageing ~~(non-destructive)~~	40
Annex A (normative) Procedure for the determination of the fitting parameters for the frequency aging		41
Bibliography		43
Figure 1 – Symbol and equivalent electrical circuit of a piezoelectric resonator		11
Figure 2 – Impedance $ Z $, resistance R_e , reactance X_e , series arm reactance X_1 of a piezoelectric resonator as a function of frequency		14
Figure 3 – Impedance and admittance diagram of a piezoelectric resonator		15
Figure 4 – Resonance, anti-resonance and load resonance frequencies		16
Figure 5 – Equivalent circuit of a piezoelectric resonator with a series (load) capacitance C_L		22
Figure 6 – Terminal bend test tool		33
Table 1 – List of symbols used for the equivalent electric circuit of a piezoelectric resonator		19
Table 2 – Solutions for the various characteristic frequencies		21
Table 3 – Minimum values for the ratio Q^2/r to be expected for various types of piezoelectric resonators		21
Table 4 – Approximate relations between the characteristic frequencies and the series resonance frequency f_s of a piezoelectric resonator		21
Table 5 – Time acceleration factors for $E_a = 0,38$ eV		38
Table A.1 – Procedure for the determination of the frequency aging parameters		42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

QUARTZ CRYSTAL UNITS OF ASSESSED QUALITY –

Part 1: Generic specification

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 60122-1 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2002-08) [documents 49/551/FDIS and 49/558/RVD] and its amendment 1 (2017-12) [documents 49/1254/FDIS and 49/1259/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

International Standard IEC 60122-1 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

This third edition of IEC 60122-1 constitutes a technical revision.

International Standard IEC 60122-1 is the first part of a new edition of the IEC standard series for quartz crystal units of assessed quality.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

IEC 60122 consists of the following parts under the general title: Quartz crystal units of assessed quality:

- Part 1: Generic specification (IEC 60122-1);
- Part 2: Guide to the use of quartz crystal units for frequency control and selection (IEC 60122-2 at present);
- Part 3: Standard outlines and lead connections (IEC 60122-3);
- Part 4: Sectional specification – Capability Approval (IEC 61178-2 at present);
- Part 4-1: Blank detail specification – Capability Approval (IEC 61178-2-1 at present);
- Part 5: Sectional specification – Qualification Approval (IEC 61178-3 at present);
- Part 5-1: Blank detail specification – Qualification Approval (IEC 61178-3-1 at present).

The QC number which appears on the front cover of this publication is the specification number in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ).

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment 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.

QUARTZ CRYSTAL UNITS OF ASSESSED QUALITY –

Part 1: Generic specification

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 60122 specifies the methods of test and general requirements for quartz crystal units of assessed quality using either capability approval or qualification approval procedures.

1.2 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 60027(all parts), *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 60050(561):1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 561: Piezoelectric devices for frequency control and selection*

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1:1990, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests A: Cold*

IEC 60068-2-2:1974, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-3:1969, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ca: Damp heat, steady state*

IEC 60068-2-6:1995, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-7:1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ga: Acceleration, steady state*

IEC 60068-2-13:1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 60068-2-14:1984, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17:1994, *Basic environmental testing procedures – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-20:1979, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test T: Soldering*

IEC 60068-2-21:1999, *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-27:1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-29:1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Eb and guidance: Bump*

IEC 60068-2-30:1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12-hour cycle)*

IEC 60068-2-32:1975, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ed: Free fall (Procedure 1)*

IEC 60068-2-45:1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents*

IEC 60122-3:2001, *Quartz crystal units of assessed quality – Part 3: Standard outlines and lead connections*

IEC 60444-1:1986, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network – Part 1: Basic method for the measurement of resonance frequency and resonance resistance of quartz crystal units by zero phase techniques in a π -network*

IEC 60444-2:1980, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network – Part 2: Phase offset method for the measurement of motional capacitance of quartz crystal units*

IEC 60444-4:1988, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -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 unit parameters – Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error corrections*

IEC 60444-6:1995, *Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)*

IEC 60617 (all parts), *Graphical symbols for diagrams*

IEC 61178-2:1993, *Quartz crystal units – A specification in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Part 2: Sectional specification – Capability approval*

IEC 61178-3:1993, *Quartz crystal units – A specification in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Part 3: Sectional specification – Qualification approval*

IEC 61760-1:2006, *Surface mounting technology – Part 1: Standard method for the specification of surface mounting components (SMDs)*

IEC QC 001001:2000, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Basic Rules*

IEC QC 001002-2:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of Procedure – Part 2: Documentation*

IEC QC 001002-3:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of Procedure – Part 3: Approval Procedures*

IEC QC 001005:2000, *Register of firms, products and services approved under the IECQ System, including ISO 9000*

ISO 1000:1992, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*

1.3 Order of precedence

Where any discrepancies occur for any reason, documents shall rank in the following order of precedence:

- the detail specification;
- the sectional specification;

- the generic specification;
- any other international documents (for example of the IEC) to which reference is made.

The same order of precedence shall apply to equivalent national documents.

2 Terminology and general requirements

2.1 General

Units, graphical symbols, letter symbols and terminology shall, wherever possible, be taken from the following standards: IEC 60027, IEC 60050(561), IEC 60617 and ISO 1000.

2.2 Terms, definitions and classification of phenomena

The following paragraphs contain additional terminology applicable to quartz crystal units and describe certain phenomena in this context.

2.2.1

crystal element (crystal blank)

piezoelectric material cut to a given geometrical shape, size and orientation with respect to the crystallographic axes of the crystal

2.2.2

electrode

an electrically conductive plate or film in contact with, or in proximity to, a face of a crystal element by means of which an electric field is applied to the element

2.2.3

crystal resonator

a mounted crystal element that vibrates when an alternating electric field exists between the electrodes

2.2.4

mounting

the means by which the crystal resonator is supported (within its enclosure)

2.2.5

enclosure

the enclosure protecting the crystal resonator(s) and mounting

2.2.6

enclosure type

a crystal enclosure of specific outline dimensions and material with a defined method of sealing

2.2.7

crystal unit

a crystal resonator mounted in an enclosure

2.2.8

socket

a component into which the crystal unit is inserted to hold the crystal unit and to provide electrical connection

2.2.9

mode of vibration

the pattern of motion in a vibrating body of the individual particles resulting from stresses applied to the body, the frequency of oscillation and the boundary conditions existing. The common modes of vibration are:

- flexural;
- extensional;
- face shear;
- thickness shear.

2.2.10

fundamental crystal unit

a crystal resonator designed to operate at the lowest order of a given mode

2.2.11

overtone crystal unit

a crystal resonator designed to operate at a higher order than the lowest of the given mode

2.2.12

overtone order

the numbers allotted to the successive overtones of a given mode of vibration from the ascending series of integral numbers commencing with the fundamental as unity. For shear and extensional modes, this overtone is the integral multiple of the fundamental frequency to which the overtone frequency approximates

2.2.13

crystal unit equivalent circuit

the electric circuit which has the same impedance as the crystal unit in the region of the desired resonance and anti-resonance frequencies. It is represented by an inductance, capacitance and resistance in series, this series arm being shunted by the capacitance between the terminals of the unit. The parameters of the series branch of inductance, capacitance and resistance are given by L_1 , C_1 and R_1 respectively: these are termed "motional parameters" of the crystal unit. The shunt (parallel) capacitance is denoted by C_0 (see figure 1).

The parameters are independent of frequency for isolated modes of motion. Generally, the mode in question is sufficiently isolated from other modes to permit this assumption. When this is not true, the equations and measuring methods outlined herein do not apply. For identification of symbols used in this standard, see table 1.

NOTE 1 The equivalent circuit does not represent all the characteristics of a crystal unit.

NOTE 2 The values of R_e , X_e , G_p and B_p vary rapidly around the resonance frequency,

where

R_e is the equivalent circuit series resistance of the resonator;

X_e is the equivalent circuit series reactance of the resonator;

G_p is the equivalent circuit parallel conductance of the resonator;

B_p is the equivalent circuit parallel susceptance of the resonator.

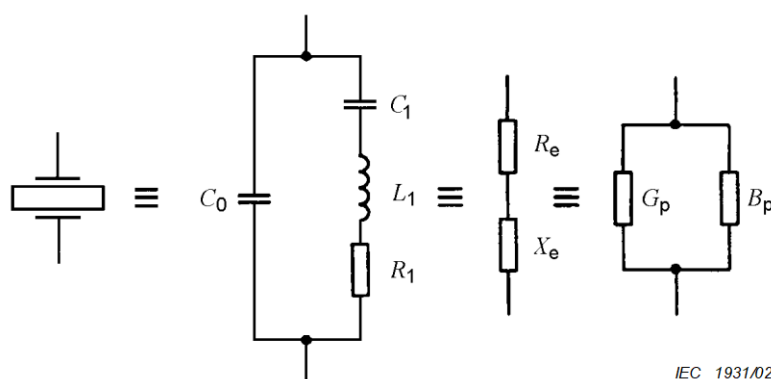


Figure 1 – Symbol and equivalent electrical circuit of a piezoelectric resonator

2.2.14

motional resistance (R_1)

the resistance in the motional (series) arm of the equivalent circuit

2.2.15

motional inductance (L_1)

the inductance in the motional (series) arm of the equivalent circuit

2.2.16

motional capacitance (C_1)

the capacitance in the motional (series) arm of the equivalent circuit

2.2.17

shunt capacitance (C_0)

the capacitance in parallel with the motional arm of the equivalent circuit

2.2.18

parameters of piezoelectric resonators

the fundamental parameters C_1 , L_1 , R_1 and C_0 define the equivalent electric circuit shown in figure 1, and all other parameters may be derived from them. At a given frequency, the parameters of the equivalent electric circuit generally approach constant values as the amplitude of vibration approaches zero. The amplitude which can be tolerated before the parameters are appreciably affected varies widely between resonators of various types and can only be determined by experiment.

The equation for the impedance Z or admittance Y :

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{j}{\omega C_0} \times \frac{\Omega - j\delta}{1 - \Omega + j\delta} \quad (1)$$

of the equivalent electric circuit of the piezoelectric resonator is the basic equation describing the relationships between the various parameters.

In equation (1):

$$\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2} \quad \text{and} \quad \delta = 2\pi f C_0 R_1$$

are the normalized frequency factor and the normalized damping factor, respectively. See table 1, for definitions of f_p , f_s , and the other symbols used in equation (1) and for other essential parameters. The characteristic frequencies of equation (1) are defined in table 2.

The magnitude of the impedance of the equivalent electric network ($|Z|$), its resistive component (R_e), its reactive component (X_e), and the reactance X_1 of the L_1 , C_1 , R_1 branch are plotted as functions of frequency in figure 2, for the purpose of defining the different characteristic frequencies. $|Z_m|$ and $|Z_n|$ denote minimum and maximum impedance respectively, and R_r , R_a the impedances at zero phase angle. These curves, however, have only qualitative character and do not represent a particular piezoelectric resonator.

For further clarification, the impedance and admittance circles of a piezoelectric resonator are reproduced in figure 3. However, the circle representation of the impedance or admittance of a piezoelectric resonator is valid only if the circle diameter of the admittance diagram is large compared with the change of $2\pi fC_0$ in the resonance range or if $r \ll Q^2$, which is fulfilled in most resonators. If the latter conditions are not fulfilled, the admittance curve shows a cissoidal character. Throughout the remainder of this standard, it is assumed that the impedance (or admittance) of the resonator can be represented by a circle diagram. Table 3 gives data for Q , r , and Q^2/r for various types of resonators, indicating that this assumption is valid for all practical cases.

It is necessary to make approximations in deriving practical equations for general use. It is the error of these approximations, in addition to the errors of instrumentation that govern the overall accuracy of the experimentally derived parameters.

As a first approximation sufficient for many practical purposes, the following assumptions can be made:

$$f_m = f_r = f_s \quad \text{and} \quad f_a = f_n = f_p$$

More exact relations between the characteristic frequencies f_m , f_r , f_a , f_p , f_n , and the series resonance frequency f_s of a resonator, valid for the figure of merit $M > 10$ and the capacitance ratio $r > 10$, are shown in table 4. These relationships have been derived by various authors under the assumption that $M \gg 1$.

The separation between parallel and series resonance frequencies is given by:

$$\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2} = \frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{r} \quad (2)$$

The approximation:

$$\begin{aligned} \frac{f_p - f_s}{f_s} &= \sqrt{1 + r^{-1}} - 1 \\ &= \frac{1}{2r} \left(1 - \frac{1}{4r} + \dots \right) \approx \frac{1}{2r} \\ &= \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0} \end{aligned} \quad (3)$$

can be used for larger values of r (for example, when r is greater than 25, the error is less than 1 %).

2.2.19**resonance frequency (f_r)**

the lower of the two frequencies of the crystal unit alone, under specified conditions, at which the electrical impedance of the crystal unit is resistive

2.2.20**resonance resistance (R_r)**

the resistance of the crystal unit alone at the resonance frequency f_r

2.2.21**anti-resonance frequency (f_a)**

the higher of the two frequencies of the crystal unit alone, under specified conditions, at which the electrical impedance of the crystal unit is resistive

2.2.22**load capacitance (C_L)**

the effective external capacitance associated with the crystal unit which determines the load resonance frequency f_L

2.2.23**load resonance frequency (f_L)**

one of the two frequencies of a crystal unit in association with a series or with a parallel load capacitance, under specified conditions at which the electrical impedance of the combination is resistive. The load resonance frequency is the lower of the two frequencies when the load capacitance is in series and the higher when it is in parallel (see figure 4).

For a given value of load capacitance C_L , these frequencies are identical for all practical purposes and are given by the expression

$$\frac{1}{f_L} = 2\pi \sqrt{\frac{L_1 C_1 (C_0 + C_L)}{C_1 + C_0 + C_L}} \quad (4)$$

NOTE 1 The frequencies defined in 2.2.19, 2.2.21 and 2.2.23 are listed as being the terms more commonly used. The frequencies associated with a quartz crystal are numerous and for a full explanation tables 2 and 4 should be consulted.

NOTE 2 When higher accuracies are required or secondary data (for example, values of crystal unit motional parameters) are to be derived from the frequency measurements, table 1, IEC 60444-1 and IEC 60444-5 should be consulted.

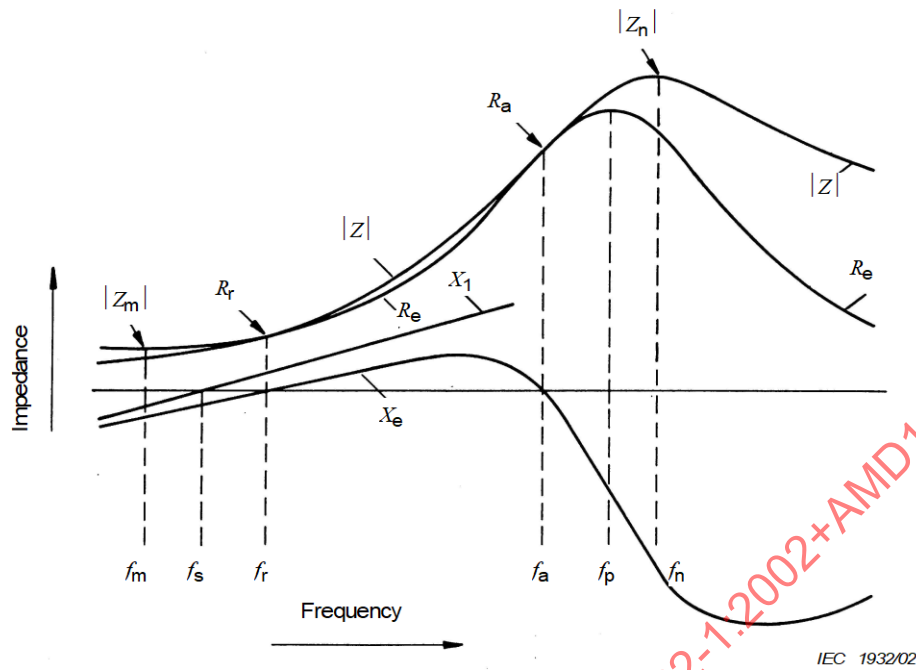
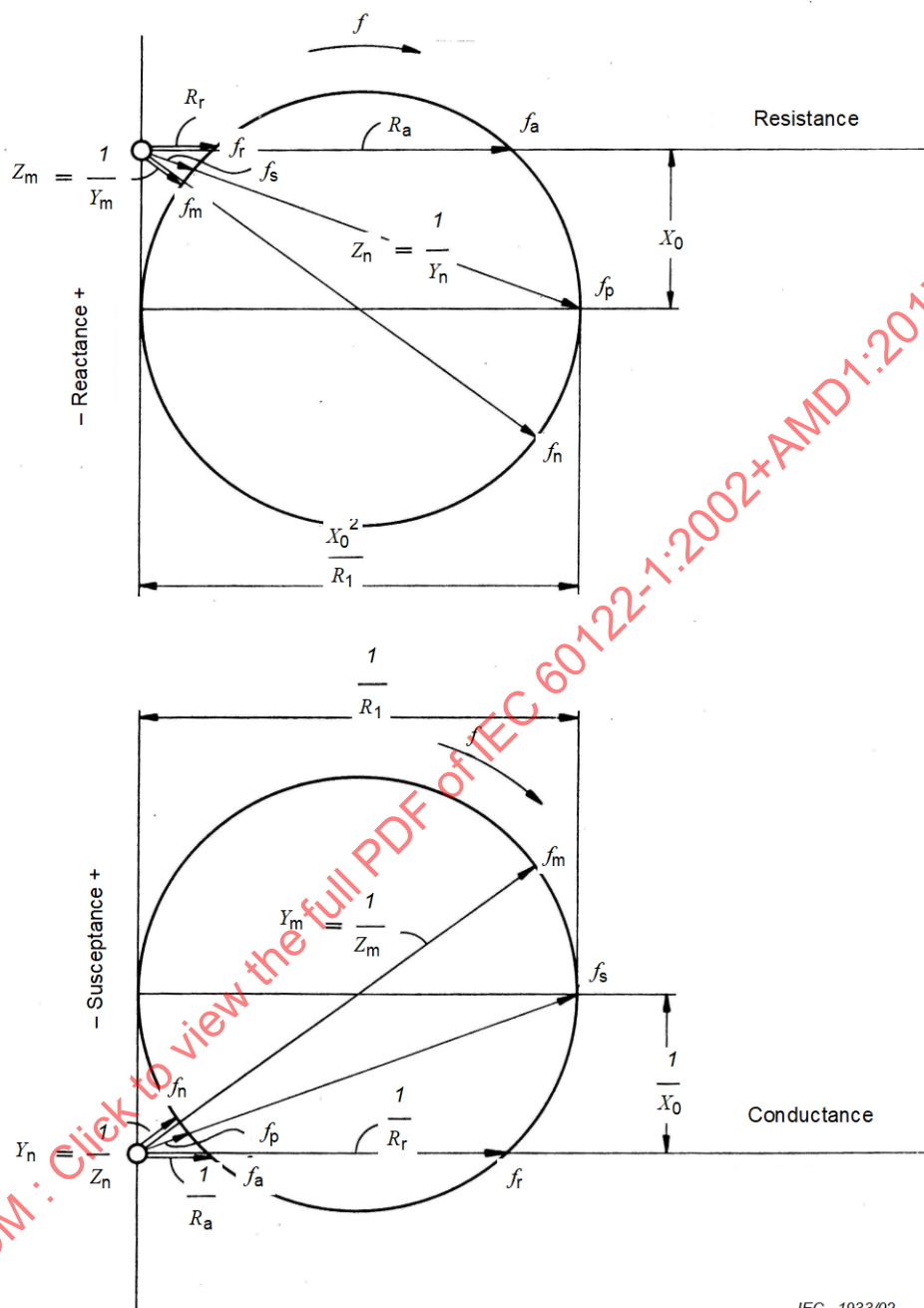


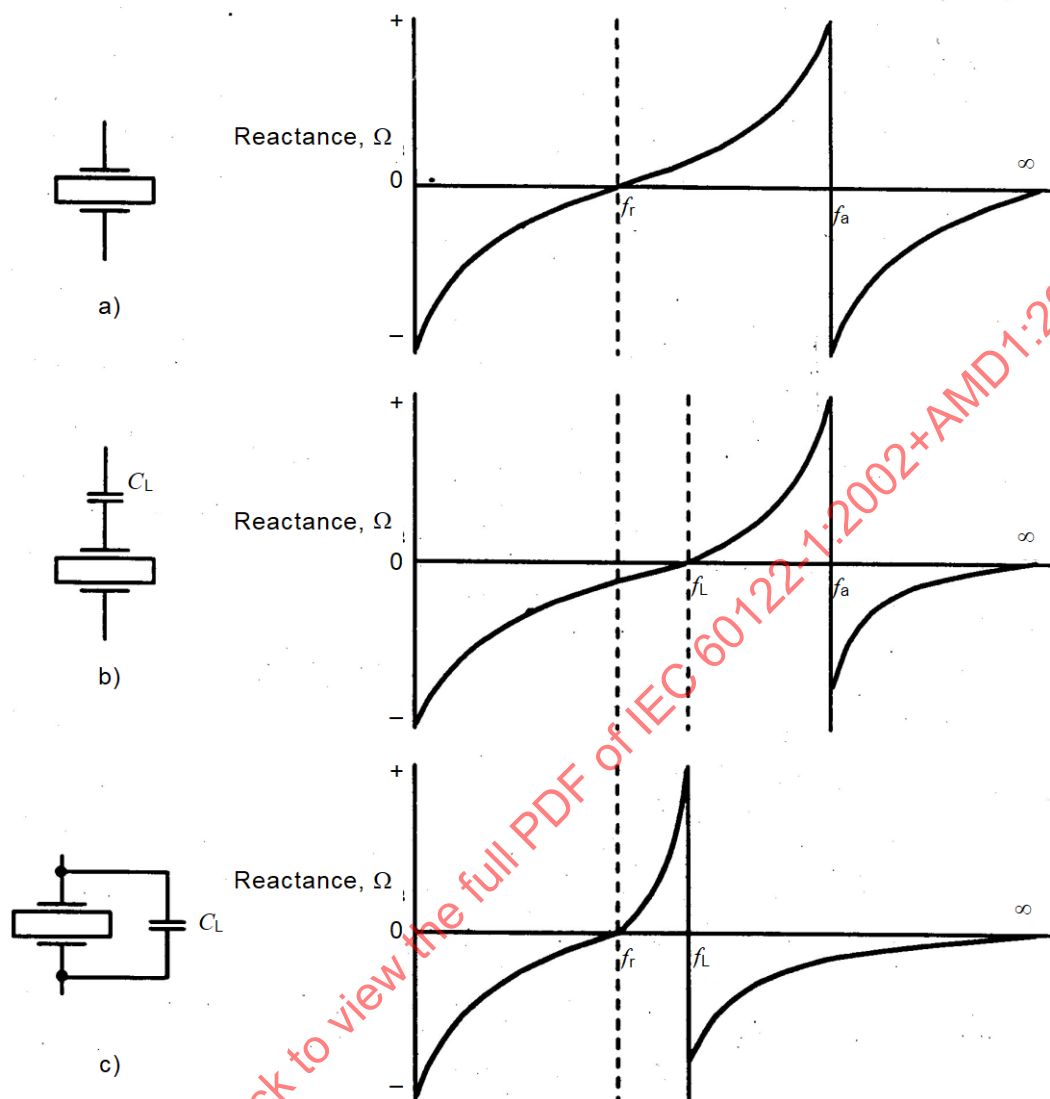
Figure 2 – Impedance $|Z|$, resistance R_e , reactance X_e , series arm reactance X_1 of a piezoelectric resonator as a function of frequency



IEC 1933/02

Figure 3 – Impedance and admittance diagram of a piezoelectric resonator

The symbols conform with those in table 1 and figure 2.



IEC 1934/02

NOTE 1 The values of load capacitances shown in b) and c) are equal.

NOTE 2 See 2.2.19, 2.2.21 and 2.2.23.

Figure 4 – Resonance, anti-resonance and load resonance frequencies

2.2.24

load resonance resistance (R_L)

the resistance of the crystal unit in series with a stated external capacitance at the load resonance frequency f_L .

NOTE To a close approximation the value of R_L is related to the value of R_r by the expression:

$$R_L \cong R_r \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \quad (5)$$

2.2.25

nominal frequency (f_{nom})

the frequency assigned to the crystal unit by the manufacturer

2.2.26

working frequency (f_w)

the operational frequency of the crystal unit together with associated circuits

2.2.27

load resonance frequency offset (Δf_L)

$$\Delta f_L = f_L - f_r \quad (6)$$

It can be calculated approximately from

$$\Delta f_L \cong \frac{f_r C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad (7)$$

In usage, the load resonance frequency offset Δf_L for a given value of load capacitance can be written as, for instance, Δf_{30} or Δf_{20} to indicate the actual value of load capacitance in picofarads involved.

2.2.28

fractional load resonance frequency offset (D_L)

$$D_L = \frac{f_L - f_r}{f_r} \quad (8)$$

It can be calculated approximately from

$$D_L \cong \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad (9)$$

This can also be written as, for instance, D_{30} to indicate the fractional load resonance frequency offset D_L with a load capacitance of 30 pF.

2.2.29

frequency pulling range ($\Delta f_{L1,L2}$)

$$\Delta f_{L1,L2} = |f_{L1} - f_{L2}| \quad (10)$$

It can be calculated approximately from:

$$\Delta f_{L1,L2} = \left| \frac{f_r C_1 (C_{L2} - C_{L1})}{2(C_0 + C_{L1})(C_0 + C_{L2})} \right| \quad (11)$$

This can also be written as, for instance $\Delta f_{20,30}$ to indicate the frequency pulling range between load capacitances of 20 pF and 30 pF

2.2.30

fractional pulling range ($D_{L1,L2}$)

$$D_{L1,L2} = \left| \frac{f_{L1} - f_{L2}}{f_r} \right| = |D_{L1} - D_{L2}| \quad (12)$$

It can be calculated approximately from:

$$D_{L1,L2} = \left| \frac{C_1(C_{L2} - C_{L1})}{2(C_0 + C_{L1})(C_0 + C_{L2})} \right| \quad (13)$$

This can be written as, for instance, $D_{20,30}$, to indicate the fractional pulling range between load capacitances of 20 pF and 30 pF

2.2.31

pulling sensitivity (S)

$$S = \frac{dD_L}{dC_L} \cong \frac{-C_1}{2(C_0 + C_L)^2} \quad (14)$$

This can be written as, for instance, S_{30} , to indicate the pulling sensitivity at a load capacitance of 30 pF

2.2.32

operating temperature range

the range of temperatures as measured on the enclosure, over which the crystal unit shall be within the specified tolerances

2.2.33

operable temperature range

the range of temperatures as measured on the enclosure over which the crystal unit will not sustain permanent damage though not necessarily functioning within the specified tolerances

2.2.34

storage temperature range

the minimum and maximum temperatures, as measured on the enclosure, at which the crystal unit may be stored without deterioration or damage to its performance

2.2.35

reference temperature

the temperature at which certain crystal measurements are made. For controlled temperature units, the reference temperature is the mid-point of the controlled temperature range. For non-controlled temperature units, the reference temperature is normally $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

2.2.36

level of drive

a measure of the conditions imposed upon the crystal unit. This may be expressed in terms of current through or power dissipated in the crystal element

2.2.37

drive level dependency

drive level dependency (DLD) is the effect of changes in drive level conditions upon the resonance resistance of the crystal unit. This parameter can be specified by defining the ratio of resistance between two specified drive levels. This ratio is represented by the expression:

$$\frac{R_{r1}}{R_{r2}}$$

where

R_{r1} is the resistance at the lower level of drive;

R_{r2} is the resistance at the higher level of drive.

2.2.38**unwanted response**

a state of resonance of a crystal resonator other than that associated with the working frequency

2.2.39**frequency tolerance**

the maximum permissible deviation of the working frequency due to a specified cause or a combination of causes. The frequency tolerance is usually stated in parts per million (1×10^{-6}) of the nominal frequency

NOTE The tolerances normally used are as follows:

- deviation from nominal frequency at the reference temperature under specified conditions;
- deviation over the temperature range from the frequency at the specified reference temperature;
- deviation as a result of ageing under specified conditions;
- deviation from nominal frequency due to all causes (overall tolerance).

Table 1 – List of symbols used for the equivalent electric circuit of a piezoelectric resonator

Symbols	Meaning	SI units	References		
			Equations	Tables	Figures
B_p	Equivalent parallel susceptance of resonator	S		2	1
C_0	Shunt (parallel) capacitance in the equivalent electric circuit	F	2, 3		1, 5
C_1	Motional capacitance in the equivalent electric circuit	F	2, 3		1, 5
f	Frequency	Hz			3
f_a	Antiresonance frequency, zero susceptance	Hz		2, 4	2, 3
f_m	Frequency of maximum admittance (minimum impedance)	Hz		2, 4	2, 3
f_n	Frequency of minimum admittance (maximum impedance)	Hz		2, 4	2, 3
f_p	Parallel resonance frequency (lossless)	Hz	2, 3	2, 4	2, 3
	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\frac{C_1C_0}{C_1+C_0}}}$				
f_r	Resonance frequency, zero susceptance	Hz		2, 4	2, 3, 4
f_s	Motional (series) resonance frequency	Hz	2, 3	2, 4	2, 3
	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$				
G_p	Equivalent parallel conductance of resonator				1
L_1	Motional inductance in the equivalent electric circuit	H			1, 5
M	Figure of merit of a resonator	Dimensionless		3, 4	
	$M = \frac{Q}{r}$				

Symbols	Meaning	SI units	References		
			Equations	Tables	Figures
Q	Quality factor: $Q = \frac{W_s L_1}{R_1}$	Dimensionless		3	
r	Capacitance ratio: $r = \frac{C_0}{C_1}$	Dimensionless	2, 3	2, 3, 4	
R_a	Impedance at zero phase angle near antiresonance	Ω			2, 3
R_e	Equivalent series resistance of resonator	Ω			1, 2
R_r	Impedance at f_r , zero phase angle	Ω			2, 3
R_1	Motional resistance in the equivalent electric circuit	Ω	15	2	1, 3, 5
X_e	Equivalent series reactance of resonator	Ω			1, 2
X_0	Reactance of shunt (parallel) capacitance at series resonance: $X_0 = \frac{1}{\omega_s C_0}$	Ω			3
X_1	Reactance of motional series arm of resonator: $X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}$	Ω		2	2
Y	Admittance of resonator: $Y = G_p + jB_p = \frac{1}{Z}$	S	1		
Y_m	Maximum admittance of resonator	S			3
Y_n	Minimum admittance of resonator	S			3
Z	Impedance of resonator: $Z = R_e + jX_e$	Ω	1		
Z_m	Minimum impedance of resonator	Ω			2, 3
Z_n	Maximum impedance of resonator	Ω			2, 3
$ Z $	Absolute value of impedance of resonator: $Z = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$	Ω		2	2
$ Z_m $	Absolute value of impedance at f_m (minimum impedance)	Ω			2
$ Z_n $	Absolute value of impedance at f_n (maximum impedance)	Ω			2
δ	Normalized damping factor: $\delta = \omega C_0 R_1$	Dimensionless	1	2	
Ω	Normalized frequency factor: $\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2}$	Dimensionless	1	2	
ω	Circular (angular) frequency: $\omega = 2\pi f$	rad/s		2	
ω_s	Circular frequency at motional resonance: $\omega_s = 2\pi f_s$	rad/s			
C_L	Load capacitance	F	4, 15	1	4, 5
f_L	Load resonance frequency of combination of resonator and C_L $f_L = f_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}}$	Hz	15	1	4

Table 2 – Solutions for the various characteristic frequencies

Characteristic frequencies	Meaning	Condition	Constituent equation for frequency
f_m	Frequency of maximum admittance (minimum impedance)	$\frac{d Z }{d\omega} = 0$	$(\Omega^2 + \delta^2)^2 - 2\delta^2(\Omega + r) - 2\Omega r(1 - \Omega) - \Omega^2 = 0$
f_s	Motional (series) resonance frequency	$X_1 = 0$	$\Omega = 0$
f_r	Resonance frequency	$X_e = B_p = 0$	$\Omega(1 - \Omega) - \delta^2 = 0$
f_a	Antiresonance frequency	$X_e = B_p = 0$	$\Omega(1 - \Omega) - \delta^2 = 0$
f_p	Parallel resonance frequency (loss-less)	$ X_e = \infty$ for $R_1 = 0$	$\Omega = 1$
f_n	Frequency of minimum admittance (maximum impedance)	$\frac{d Z }{d\omega} = 0$	$(\Omega^2 + \delta^2)^2 - 2\delta^2(\Omega + r) - 2\Omega r(1 - \Omega) - \Omega^2 = 0$

Table 3 – Minimum values for the ratio Q^2/r to be expected for various types of piezoelectric resonators

Type of piezoelectric resonator	$Q = M r$	r	Q^2/r min
Piezoelectric ceramics	90 – 500	2 – 40	200
Water-soluble piezoelectric crystals	200 – 50 000	3 – 500	80
Quartz	$10^4 - 10^7$	100 – 50 000	2 000

Table 4 – Approximate relations between the characteristic frequencies and the series resonance frequency f_s of a piezoelectric resonator

Characteristic frequency	1 st approximation		2 nd approximation	
	$\frac{f}{f_s}$	Deviation $\frac{\Delta f}{f_s}$ from a more precise value	$\frac{f}{f_s}$	Deviation $\frac{\Delta f}{f_s}$ from a more precise value
f_m	$\frac{f_m}{f_s} = 1$	$-\frac{1}{2M^2 r}$	$\frac{f_m}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}} \right]$	$\frac{1}{2M^4 r^2}$
f_r	$\frac{f_r}{f_s} = 1$	$\frac{1}{2M^2 r}$	$\frac{f_r}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}} \right]$	$\frac{1}{2M^4 r^2}$
f_a	$\frac{f_a}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$-\frac{1}{2M^2 r} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$	$\frac{f_a}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}} \right]$	$-\frac{1}{2M^2 r} \times \frac{1}{r}$
f_n	$\frac{f_n}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$\frac{1}{2M^2 r} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$	$\frac{f_n}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}} \right]$	$\frac{1}{2M^2 r} \times \frac{1}{r}$
f_p	$\frac{f_p}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$-\frac{1}{8r^2}$	$\frac{f_p}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{r}}$	0

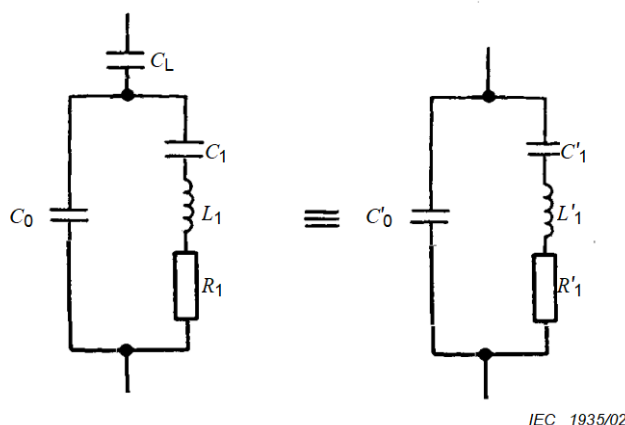


Figure 5 – Equivalent circuit of a piezoelectric resonator with a series (load) capacitance C_L

$$L'_1 = L_1 \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2$$

$$C'_1 = C_1 \frac{1}{\left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \left(1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L} \right)} \quad (15)$$

$$R'_1 = R_1 \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2$$

$$C'_0 = \left(\frac{C_0 C_L}{C_0 + C_L} \right)$$

$$f_L = f_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}} \approx f_s \left(1 + \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \right)$$

2.3 Preferred ratings and characteristics

Values should preferably be chosen from the following paragraphs.

2.3.1 Temperature ranges in degrees Celsius (°C) suitable for ambient operation

–55 to +125	–30 to +80	–10 to +60
–55 to +105	–30 to +70	–10 to +50
–55 to +100	–25 to +80	0 to +60
–55 to +90	–20 to +85	0 to +50
–40 to +90	–20 to +80	+5 to +55
–40 to +85	–20 to +70	+10 to +40
–40 to +80	–20 to +60	+15 to +50
–40 to +70	–10 to +70	

2.3.2 Elevated temperature ranges in degrees Celsius (°C) suitable for oven control

60 ± 5	75 ± 5
65 ± 5	80 ± 5
70 ± 5	85 ± 5

2.3.3 Frequency tolerance (1×10^{-6})

±200	±25	±7,5
±100	±20	±5
±50	±15	±4
±40	±10	±2,5
±30		±1

2.3.4 Circuit conditions

10 pF load capacitance
 15 pF load capacitance
 20 pF load capacitance
 30 pF load capacitance
 50 pF load capacitance
 Series resonance.

2.3.5 Levels of drive

Thickness shear/AT:

Current, in μA

150

200

1 000

2 000

Power, in μW

1

10

100

500

Flexure and face shear:

Current, in μA

100

200

Extensional:

Current, in μA

500

1 000

2.3.6 Drive level dependency

Resonance resistance Ω	Resistance ratio, $\frac{R_{r1}}{R_{r2}}$
< 5	2,2
5 to 10	2,0
10 to 20	1,8
20 to 35	1,5
35 to 50	1,3
>50	1,2

2.3.7 Climatic category

55/105/56

For requirements where the operating temperature range of the crystal unit is greater than –55 °C to +105 °C, a climatic category consistent with the operating temperature range shall be specified.

2.3.8 Bump severity

4 000 ± 10 bumps at 390 m/s² peak acceleration in each direction along three mutually perpendicular axes (see 4.8.6).

Pulse duration 6 ms.

2.3.9 Vibration severity

10 Hz to 55 Hz
0,75 mm displacement amplitude
(peak value)
55 Hz to 500 Hz
or 55 Hz to 2 000 Hz
98,1 m/s² acceleration amplitude
(peak value)

30 min in each of three mutually perpendicular
axes at 1 octave/min (see 4.8.7)

10 Hz to 55 Hz
1,5 mm displacement amplitude
(peak value)
55 Hz to 2 000 Hz
196,2 m/s² acceleration amplitude
(peak value)

30 min in each of three mutually perpendicular
axes at 1 octave/min (see 4.8.7)

Random vibration severities: under consideration

2.3.10 Shock severity

981 m/s² peak acceleration for 6 ms duration; three shocks in each direction along three mutually perpendicular axes (see 4.8.8), half sine pulse, unless otherwise stated in the detail specification.

2.3.11 Leak rate

10^{-3} Pa·cm³/s (10^{-8} bar·cm³/s).

2.4 Marking

2.4.1 The information given in the marking is selected from the following list: the relative importance of each item is indicated by its position in the list:

- a) type designation as defined in the detail specification;
- b) nominal frequency in kilohertz (kHz) or megahertz (MHz);
- c) year and week (four digits) of manufacture;
- d) factory identification code;
- e) manufacturer's name or trade mark;
- f) mark of conformity (unless a certificate of conformity is used).

2.4.2 The crystal units shall be clearly marked with a), b) and c) above and with as many as possible of the remaining items as is considered necessary. Any duplication of information in the marking on the crystal unit should be avoided.

Where the available surface area of miniature crystal enclosures imposes practical limits on the amount of marking, instructions on the marking to be applied shall be given in the detail specification.

2.4.3 The primary package containing the crystal unit(s) shall be clearly marked with all the information listed in 2.4.1.

2.4.4 Any additional marking shall be so applied that no confusion can arise.

3 Quality assessment procedures

Two methods are available for the approval of quartz crystal units of assessed quality. They are qualification approval and capability approval.

3.1 Primary stage of manufacture

In accordance with 3.1.1.2 of IEC QC 001002-3, the primary stage of manufacture is the final surface finishing of the crystal element.

NOTE The final surface finishing of the crystal element could be any of the following operations: lapping; polishing; etching; cleaning, in the case of polished plates.

3.2 Structurally similar components

The grouping of structurally similar components for the purpose of qualifications approval, capability approval and quality conformance inspection shall be prescribed in the relevant sectional specification.

3.3 Subcontracting

These procedures shall be in accordance with 3.1.2 of IEC QC 001002-3.

However, the final surface finishing of the crystal elements and all subsequent processes shall be carried out by the manufacturer to whom approval has been granted.

3.4 Manufacturer's approval

To obtain manufacturer's approval the manufacturer shall meet the requirements of clause 2 of IEC QC 001002-3.

3.5 Approval procedures

3.5.1 General

To qualify a quartz crystal unit, either capability approval or qualification approval procedures may be used. These procedures shall conform to those stated in IEC QC 001001 and IEC QC 001002-3.

3.5.2 Capability approval

Capability approval is appropriate when structurally similar quartz crystal units based on common design rules, are fabricated, by a group of common processes.

Under capability approval detail specifications fall into the following three categories.

a) Capability qualifying components (CQCs)

A detail specification shall be prepared for each CQC as agreed with the National Supervising Inspectorate (NSI). It shall identify the purpose of the CQC and include all relevant stress levels and test limits.

b) Standard catalogue items

When a component covered by the capability approval procedure is intended to be offered as a standard catalogue item, a detail specification complying with the blank detail specification shall be written. Such specifications shall be registered by the IECQ and the component may be listed in IEC QC 001005.

c) Custom built quartz crystal units

The content of the detail specification shall be determined by agreement between the manufacturer and the customer in accordance with 4.3.3 of IEC QC 001002-3.

Further information on detail specifications is contained in the sectional specification IEC 61178-2.

The product and capability qualifying components (CQCs) are tested in combination and approval given to a manufacturing facility on the basis of validated design rules, processes and quality control procedures. Further information is given in 3.6 and in the sectional specification IEC 61178-2.

3.5.3 Qualification approval

Qualification approval is appropriate for components manufactured to a standard design and established production process and conforming to a published detail specification.

The programme of tests defined in the detail specification for the appropriate assessment and severity level applies directly to the quartz crystal unit to be qualified, as prescribed in 3.7 and the sectional specification IEC 61178-3.

3.6 Procedures for capability approval

3.6.1 General

The procedures for capability approval shall be in accordance with IEC QC 001002-3.

3.6.2 Eligibility for capability approval

The manufacturer shall comply with the requirement of 4.2.1 of IEC QC 001002-3 and the primary stage of manufacture as defined in 3.1 of this generic specification.

3.6.3 Application for capability approval

In order to obtain capability approval the manufacturer shall apply the rules of procedure given in clause 4 of IEC QC 001002-3.

3.6.4 Granting of capability approval

Capability approval shall be granted when the procedures in accordance with 4 of IEC QC 001002-3 have been successfully completed.

3.6.5 Capability manual

The contents of the capability manual shall be in accordance with the requirements of the sectional specification. The NSI shall treat the capability manual as a confidential document. The manufacturer may, if he so wishes, disclose part or all of it to a third party.

3.7 Procedures for qualification approval

3.7.1 General

The procedures for qualification approval shall be in accordance with clause 3 of IEC QC 001002-3.

3.7.2 Eligibility for qualification approval

The manufacturer shall comply with the requirements of 3.1.1 of IEC QC 001002-3 and the primary stage of manufacture as defined in 3.1 of this generic specification.

3.7.3 Application for qualification approval

In order to obtain qualification approval the manufacturer shall apply the procedures given in 3.1.3 of IEC QC 001002-3.

3.7.4 Granting of qualification approval

Qualification approval shall be granted when the procedures in accordance with 3.1.5 of IEC QC 001002-3 have been successfully completed.

3.7.5 Quality conformance inspection

The blank detail specification associated with the sectional specification shall prescribe the test schedule for quality conformance inspection.

3.8 Test procedures

The test procedures to be used shall be selected from this generic specification. If any required test is not included, then it shall be defined in the detail specification.

3.9 Screening requirements

Where screening is required by the customer for quartz crystal units this shall be specified in the detail specification.

3.10 Rework and repair work

3.10.1 Rework

Rework is the rectification of processing errors and shall not be carried out if prohibited by the sectional specification. The sectional specification shall state if there is a restriction on the number of occasions that rework may take place on a specific component.

All rework shall be carried out prior to the formation of the inspection lot offered for inspection to the requirements of the detail specification.

Such rework procedures shall be fully described in the relevant documentation produced by the manufacturer and shall be carried out under the direct control of the chief inspector. Sub-contracting of rework is not permitted.

3.10.2 Repair work

Repair work is the correction of defects in a component after release to the customer.

Components that have been repaired can no longer be considered as representative of the manufacturer's production and may not be released under the IECQ System.

3.11 Certified records of released lots

The requirements of clause 1.5 of IEC QC 001002-2 shall apply. When certified records of released lots (CRRL) are prescribed in the sectional specification for qualification approval and are requested by the customer, the results of the specified tests shall be summarized.

3.12 Validity of release

Crystal units held for a period exceeding two years following acceptance inspection shall be reinspected for the electrical tests detailed in 4.7.1 and 4.7.3, with a sample tested as described in item a) of 4.8.3, prior to release.

3.13 Release for delivery

Quartz crystal units shall be released in accordance with 3.2.6 and 4.3.2 of IEC QC 001002-3.

3.14 Unchecked parameters

Only those parameters of a component which have been specified in a detail specification and which were subject to testing can be assumed to be within the specified limits. It should not be assumed that any parameter not specified will remain unchanged from one component to another. Should it be necessary for further parameters to be controlled, then a new, more extensive, detail specification should be used. Any additional test method(s) shall be fully described and appropriate limits, AQLs and inspection levels specified.

4 Test and measurement procedures

4.1 General

The test and measurement procedures shall be carried out in accordance with the relevant detail specification.

4.2 Alternative test methods

Measurements shall preferably be carried out using the methods specified. Any other method giving equivalent results may be used except in case of dispute.

NOTE By “equivalent” it is meant that the value of the characteristic established by such other method falls within the specified limits when measured by the specified method.

4.3 Precision of measurement

The limits given in detail specifications are true values. Measurement inaccuracies shall be taken into account when evaluating the results. Precautions should be taken to reduce measurement errors to a minimum.

4.4 Standard conditions for testing

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under the standards atmospheric conditions for testing as specified in 5.3 of IEC 60068-1.

Temperature	15 °C to 35 °C
Relative humidity	45 % to 75 %
Air pressure	86 kPa to 106 kPa (860 mbar to 1 060 mbar)

In case of dispute, the referee conditions are:

Temperature	25 °C $\pm$ 1 °C
Relative humidity	48 % to 52 %
Air pressure	86 kPa to 106 kPa (860 mbar to 1 060 mbar)

Before measurements are made, the crystal units shall be stored at the measuring temperature for a time sufficient to allow the crystal resonator to reach this temperature.

Controlled recovery conditions and standard conditions for assisted drying are given in 5.4 of IEC 60068-1.

The ambient temperature during the measurements shall be recorded and stated in the test report.

4.5 Visual inspection

Unless otherwise specified, external visual examination shall be performed under normal factory lighting and visual conditions.

4.5.1 Visual test A

The crystal unit shall be visually examined to ensure that the condition, workmanship and finish are satisfactory. The marking shall be legible.

4.5.2 Visual test B

The crystal unit shall be visually examined under $\times 10$ magnification. There shall be no cracks in the glass or damage to the terminations. Minute flaking around the feather edge of a meniscus shall not be considered a crack.

4.5.3 Visual test C

The crystal unit shall be visually examined. There shall be no corrosion or other deterioration likely to impair satisfactory operation. The marking shall be legible.

4.6 Dimensioning and gauging procedures

4.6.1 Dimensions, test A

The dimensions, spacing and alignment of the terminations shall be checked, where appropriate using the gauges specified. The dimensions, spacing and alignment shall comply with the specified values.

4.6.2 Dimensions, test B

The dimensions shall be measured and they shall comply with the specified values. Dimensions are specified in IEC 60122-3 together with the gauging procedure as appropriate or as specified in the detail specification.

4.7 Electrical test procedures

4.7.1 Frequency and resonance resistance

Unless otherwise defined in the detail specification, the measurements shall be carried out at $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ for non-temperature controlled crystal units; or at the mid-point of the temperature range $\pm 1\text{ °C}$ for temperature controlled units.

The frequency and resonance resistance of the crystal unit shall be measured under the conditions stated in the detail specification and be within the specified limits.

NOTE Preferred methods of measurement are described in IEC 60444-1, IEC 60444-2, IEC 60444-4 and IEC 60444-5 depending on the frequency of the crystal unit under test. Any other measurement method may be used provided results correlate with those obtained using preferred values.

4.7.2 Drive level dependency

It is important that when a drive level dependency test is specified, this test shall be carried out at least five days after any previous activation of the crystal unit (see IEC 60444-6).

Measurements specified in 4.7.1 shall be carried out at two specified drive levels. These are normally at a specified low level of drive followed by a high level of drive. Unless otherwise specified, the low level shall be not more than $50\text{ }\mu\text{A}$ and the upper level not less than $1\,000\text{ }\mu\text{A}$. The change of resonance resistance shall not exceed the limit specified in the detail specification.

4.7.3 Frequency and resonance resistance as a function of temperature

NOTE Tests A and B may be combined only if test A is performed with continuously varying temperature, and is started at the lower extreme of the operating temperature range or -30 °C , whichever is the lower.

The level of drive and load capacitance shall be set at the levels stated in the detail specification, at the reference temperature. No subsequent adjustment shall be made to the test equipment during the tests.

Test A

Starting with the crystal unit at an extreme of the operating temperature range, the frequency and resonance resistance (see 4.7.1) shall be measured over the specified temperature range at discrete temperature intervals of not greater than $1,5\text{ °C}$, allowing the crystal unit to reach thermal equilibrium at each temperature.

The crystal unit may be measured under conditions of continuously varying temperature, provided that tests have shown that with the chosen rate of change of temperature, the results obtained will correlate adequately with those from a stepped variation of temperature.

The crystal unit shall be within the specified limits during this test.

Test B

The temperature of the crystal enclosure shall be raised from $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in a period not exceeding 1 min. During this test, the frequency and the resonance resistance (see 4.7.1) shall be measured from $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, or below, to $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, so as to provide continuous readings. There shall be no discontinuous variation in frequency and/or resistance. Such discontinuity indicates the presence of moisture within the enclosure.

NOTE The presence of moisture can be verified only by a positive temperature change.

4.7.4 Unwanted responses

The frequency shall be scanned over the range stated in the detail specification while monitoring the resistance of the crystal unit at the drive level stated in the detail specification for the main response.

The ratio of the resonance resistance of any unwanted response to that of the response at the desired resonance frequency shall be not less than the value stated in the detail specification. Alternatively, the resonance resistance of unwanted responses shall be greater than the value stated in the detail specification.

4.7.5 Shunt capacitance

The shunt capacitance C_0 (see figure 1) shall be measured at a frequency below the fundamental resonance frequency of the unit, at which the unit shows no oscillation response. The enclosure (if metal) shall be earthed, unless otherwise stated in the detail specification.

NOTE 1 There is no direct method for measuring C_0 precisely. However, in nearly all practical cases, it is adequate to regard C_0 as the mean of two shunt capacitance values obtained at two frequencies equidistant above and below the resonance frequency f_r and sufficiently removed from f_r for the impedance to be independent of any response.

NOTE 2 C_0 is the shunt capacitance between the two electrodes of the resonator but it should be pointed out that the capacitances of both the electrodes to earth are important elements in many network and frequency control applications.

NOTE 3 Therefore, in the general case, it is necessary to consider the crystal unit as a three terminal network and to evaluate C_0 and the stray capacitances of the two electrodes to earth from open- and short-circuit measurements according to the technique customarily employed when dealing with two-port devices.

The crystal enclosures shall be at earth potential, unless otherwise specified in the detail specification, during the entire series of measurements required for evaluation of the resonator parameters. For this purpose, glass-enclosed crystal units shall be provided with metal shields.

4.7.6 Load resonance frequency and resistance

Test methods for the measurement of load resonance frequency and load resonance resistance are described in IEC 60444-4.

4.7.7 Frequency pulling range (f_{L1} , f_{L2})

The difference between the resonance frequencies with the two specified load capacitances shall be determined using the method described in IEC 60444-4 or any alternative method giving frequency correlation to a degree consistent with the accuracy required.

4.7.8 Motional parameters

Test methods for the measurement of motional parameters are described in IEC 60444-1, IEC 60444-2 and IEC 60444-5.

4.7.9 Insulation resistance

Unless otherwise stated in the detail specification, the insulation resistance shall be measured with a d.c. voltage of $100\text{ V} \pm 15\text{ V}$ for 60 s or less if a stable reading is achieved, applied between:

- terminations isolated from the case;
- isolated terminations connected together and metal parts of the case, if any.

The insulation resistance shall not be less than 500 M Ω .

NOTE When performing this test care should be taken to ensure that no moisture remains on the enclosure from any previous tests.

4.8 Mechanical and environmental test procedures

4.8.1 Robustness of terminations (destructive)

a) Tensile and thrust tests on terminations

The tests shall be performed in accordance with Test Ua₁ (tensile) and Test Ua₂ (thrust) of IEC 60068-2-21.

Unless otherwise stated in the detail specification, the loading mass shall be:

- for pin (plug-in) terminations: 20 N thrust,
- for pin (plug-in) terminations: 20 N tensile,
- for wire (solder) terminations: 10 N tensile.

b) Flexibility of wire terminations

The test shall be performed in accordance with Test Ub (bending) of IEC 60068-2-21.

Unless otherwise stated in the detail specification, the load shall be so restricted that the bend starts $2,5\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ from the body of the crystal unit, the loading mass shall be 5 N and the number of bends shall be three.

c) Terminal bend test (for undercut pins only)

Hold or clamp the body or base of the crystal unit by any convenient means. Use the bending tool shown in figure 6 to engage that segment of the terminals beyond the undercut section of the pins.

NOTE To ensure that bending will occur primarily at the undercut portion, a plate with two clearance holes for the pins may be placed over the pins. This plate may be of such a thickness as to include a portion of the undercut section of the pins.

Bend the pins by means of the tool through $15^\circ \pm 2^\circ$ in one direction, follow by a bend of $30^\circ \pm 2^\circ$ in the opposite direction, and complete by a bend of $15^\circ \pm 2^\circ$ back to the starting position. The rate of bending shall be approximately 5° per second in each direction.

When this test is used, the terminal pins shall not fracture.

4.8.2 Sealing tests (non-destructive)

a) Gross leak test

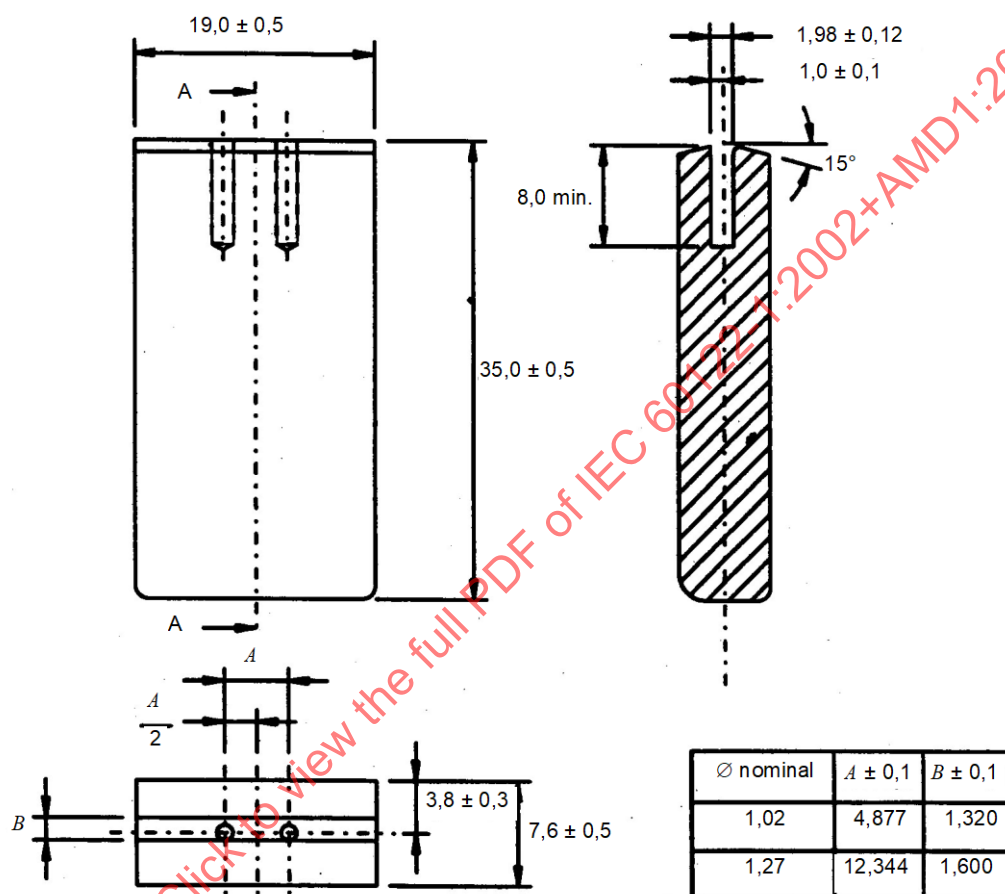
This test shall be performed in accordance with the procedure specified in Test Method 1 or 2 of Test Qc of IEC 60068-2-17.

Method 1

The liquid shall be degassed water and the pressure of air above the water shall be reduced to 8,5 kPa (85 mbar) or less and it shall not be necessary to drain or remove the specimen from the water before breaking the vacuum.

Method 2

The liquid shall be maintained at $125\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. The immersion time shall be 30 s, unless otherwise specified in the relevant detail specification.



IEC 1936/02

Dimensions in millimetres

Figure 6 – Terminal bend test tool

After 1 min, the unit shall be removed from the chamber and exposed to the controlled recovery conditions specified in 5.4.1 of IEC 60068-1.

During the test there shall be no evidence of leakage of gas or air from the inside of the crystal unit. The continuous formation of bubbles shall be evidence of leakage.

b) Fine leak test

The test shall be performed in accordance with 6.4 Test Method 1 of Test Qk of IEC 60068-2-17. Unless otherwise stated in the detail specification, the pressure in the pressure vessel shall be 200 kPa (2 bar).

The maximum leak rate shall not exceed the value given in 2.3.11, unless otherwise stated in the detail specification.

c) Vacuum test for evacuated crystal units (glass enclosure types only)

The vacuum shall be checked by applying a peak voltage not exceeding 15 kV derived from a Tesla coil.

To avoid damage to the crystal unit, the point of application of the test electrode shall be as remote as possible from the crystal resonator and its terminations. To facilitate observation of the resulting discharge, the test shall be carried out in semi-darkness. There shall be no indication of arcing within the enclosure. Where a uniform discharge occurs, it shall be a pale bluish colour.

NOTE This test should be conducted in the shortest possible time, as this test may cause changes in the nominal frequency of the crystal unit under test.

4.8.3 Soldering (solderability and resistance to soldering heat) (destructive)

a) Solderability

This test shall be performed in accordance with Method 1 of Test Ta of IEC 60068-2-20. A screen of thermally insulating material shall be used to prevent the component being heated by direct radiation from the solder bath. It shall also allow the immersion of the terminations up to a point 2 mm away from the emergence of the terminations from the body, unless otherwise specified in the detail specification. The terminations shall be examined for good tinning, as evidenced by free flowing of the solder with wetting of the terminations.

b) Resistance to soldering heat

This test shall be performed in accordance with Method 1A of Test Tb of IEC 60068-2-20. The immersion time shall be $5\text{ s} \pm 1\text{ s}$, unless otherwise specified in the detail specification. A screen of thermally insulating material shall be used to prevent the component being heated by direct radiation from the solder bath. It shall also allow the immersion of the terminations up to a point 2 mm away from the emergence of the terminations from the body, unless otherwise specified in the detail specification.

4.8.4 Rapid change of temperature, two-fluid bath method (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Nc of IEC 60068-2-14. The units shall be subjected to one cycle in a downward direction from $98\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ for 15 s to $1\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ for 5 s.

4.8.5 Rapid change of temperature with prescribed time of transition (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Na of IEC 60068-2-14.

For non-temperature-controlled crystal units, the low and high test chamber temperatures shall be the extreme temperatures of the operating range stated in the detail specification. For temperature-controlled crystal units, the low and high temperatures shall be $-40\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ and $+100\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ respectively.

The crystal units shall be maintained at each extreme of temperature for 15 min, unless otherwise specified in the detail specification.

The crystal units shall be subjected to 10 complete thermal cycles and then exposed to standard atmospheric conditions for recovery for not less than 2 h.

4.8.6 Bump (destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Eb of IEC 60068-2-29. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The three mutually perpendicular axes in which the bump is to be applied shall include:

- an axis parallel with the terminations;
- an axis perpendicular to the mounting structure at the crystal element.

The degree of severity shall be as specified in 2.3.8, unless otherwise stated in the detail specification.

4.8.7 Vibration (destructive)

a) Vibration (sinusoidal)

The test shall be performed in accordance with Test Fc of IEC 60068-2-6. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The three mutually perpendicular axes in which the acceleration is to be applied shall include:

- an axis parallel with the terminations;
- an axis perpendicular to the mounting structure at the crystal element.

The degree of severity shall be as specified in the detail specification.

b) Random vibration

Under consideration.

4.8.8 Shock (destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Ea of IEC 60068-2-27. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The three mutually perpendicular axes in which the shock is to be applied shall include:

- an axis parallel with the terminations;
- an axis perpendicular to the mounting structure at the crystal element.

The degree of severity shall be as specified in 2.3.10, unless otherwise stated in the detail specification.

4.8.9 Free fall (destructive)

The test shall be performed in accordance with Procedure 1 of Test Ed of IEC 60068-2-32. The crystal unit shall be suspended by its terminations at a height of 1 000 mm and the number of falls shall be two, unless otherwise specified in the detail specification.

4.8.10 Acceleration, steady state (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Ga of IEC 60068-2-7. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The procedure and severity shall be as stated in the detail specification.

This test may be considered destructive at certain severities.

4.8.11 Dry heat (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Ba of IEC 60068-2-2. The conditioning shall be carried out at the upper temperature indicated by the climatic category for a duration of 16 h.

4.8.12 Damp heat, cyclic (destructive)

This test shall be performed in accordance with Test Db variant 1 of IEC 60068-2-30, at severity b), 55 °C, for six cycles.

4.8.13 Cold (non-destructive)

This test shall be performed in accordance with Test Aa of IEC 60068-2-1 at the lower temperature indicated by the climatic category for a duration of 2 h.

4.8.14 Climatic sequence (destructive)

The tests and measurements shall be performed in the following order:

- dry heat see 4.8.11
- damp heat cyclic see 4.8.12 (first cycle only)
- cold see 4.8.13
- damp heat cyclic see 4.8.12 (remaining five cycles).

In the climatic sequence, an interval of not more than three days is permitted between any of these tests, except between damp heat cyclic (first cycle) and dry cold.

In such a case, the cold test shall follow immediately after the recovery period specified for the damp heat test.

4.8.15 Damp heat, steady state (destructive)

This test shall be performed in accordance with Test Ca of IEC 60068-2-3 for 56 days, unless otherwise stated in the detail specification.

4.8.16 Immersion in cleaning solvents (non-destructive)

This test is applicable to superficial marking only.

To establish the permanence of marking, this test shall be performed in accordance with test method 1 of test XA of IEC 60068-2-45. The detail specification shall prescribe the solvent to be used.

The marking shall be legible.

4.9 Endurance test procedure

4.9.1 Standard ageing (non-destructive) test for production verification

~~Crystal units shall be maintained non-oscillating at $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ for a continuous period of 30 days. The frequency and resonance resistance shall be measured at intervals of not longer than one week. The initial measurement of frequency and resonance resistance shall be taken at the end of the first 24 h and the final measurement at the end of the 30 day test.~~

~~The difference between the initial ageing measurement temperature and subsequent measurement temperature shall not exceed $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. The drive level shall be as specified in the detail specification. Measurements shall be carried out according to 4.7.1 except that the measurements shall be made at $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.~~

~~The difference between the highest and lowest frequency measurements shall not exceed the specified value.~~

~~The resonance resistance shall not be greater than the value stated in the detail specification.~~

~~The frequency resetability accuracy of the measurement system shall be $\pm 5 \times 10^{-7}$ or $\pm 10\%$ of the allowed ageing, whichever is the smaller.~~

4.9.1.1 Purpose

This test is usable for the statistical verification of aging performance in the production process.

4.9.1.2 Procedure

- Take sample from the production lot.
- Initial measurement of f_s and R_1 at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Store in oven at $T_{\text{oven}} = (+85 \pm 3) ^\circ\text{C}$.
- Take and record additional measurements after 1 day and at least three more times at time intervals recommended in Annex A.
- For the measurement, remove the crystals from oven, and store at room temperature for 1 h, avoiding temperature shocks. Measurement of f_s and R_1 at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ in accordance with IEC 60444-5 or equivalent.
- Final measurement of f_s and R_1 at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ after 30 days.

4.9.1.3 Evaluation

The difference between the highest and lowest frequency measurement shall not exceed the specified value. The resistance R_1 shall never exceed the specified maximum values.

4.9.2 Accelerated aging

4.9.2.1 Purpose

For special applications, an accelerated aging procedure at higher temperatures is applied to shorten the verification time and/or to gain performance data at higher operating temperatures.

4.9.2.2 Procedure

The procedure is as in 4.9.1, except that the preferred oven temperature is $T_{\text{oven}} = +105 ^\circ\text{C}$, $+125 ^\circ\text{C}$ or $+150 ^\circ\text{C}$. This temperature has to be lower or equal to the specified maximum storage temperature.

The ratio between the storage time at $25 ^\circ\text{C}$ and the storage time at an elevated temperature T_{oven} to achieve the same amount of frequency aging is called "time acceleration factor" (TAF). This factor depends on the design of the crystal unit and on the production process. It can be determined experimentally as described in Annex A, or taken from experience with structurally similar crystals, or can be mutually agreed between the manufacturer and the user.

If the time acceleration factor TAF is not otherwise specified, the following approach is recommended.

Applying Arrhenius's law, the time acceleration factor TAF is related to the activation energy E_a (in eV) by the following equation:

$$\text{TAF} = e^{\frac{E_a \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ref}}} - \frac{1}{T_{\text{oven}}} \right)}{k}}$$

where

k is Boltzmann's constant ($k \approx 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$), and the temperatures are given in K.

Published experimental results (see [6] and [7]) show that the activation energy E_a is decreasing over time, i.e. the acceleration factor becomes lower with the aging time. Furthermore, E_a varies between the different crystals and oscillators, depending on frequency, package size, resonator design and production processes. The observed values of E_a were between $> 0,1$ eV and < 1 eV.

A common assumption is $TAF = 12$ for $T_{oven} = +85$ °C, i.e. 30 days (1 month) aging at 85 °C are considered to be equivalent to 365 days (12 months) aging at 25 °C, which corresponds to an activation energy E_a of 0,38 eV.

With this value of E_a , the time acceleration factor for other aging temperatures can be calculated. Table 5 below shows the time acceleration factor TAF and the number of days N_d equivalent to 365 days at 25 °C.

Table 5 – Time acceleration factors for $E_a = 0,38$ eV

T_{oven} °C	TAF	N_d days
+25	1	365
+85	12	30
+105	23	16
+125	41	9
+150	79	5

Other time acceleration factors may be agreed between the manufacturer and the user based on their own reliability calculations.

4.9.2.3 Evaluation

The evaluation is as in 4.9.1.

4.9.3 Reference aging test

4.9.3.1 Purpose

This procedure is used for higher confidence level. This method should be used for high-precision crystals and as reference method in case of dispute.

4.9.3.2 Procedure

See Annex A.

4.9.3.3 Evaluation

The test data of the series resonance frequency f_s is subjected to the data fitting procedure.

The frequency measurement data $f_i(t)$ shall be fitted using the method of least squares of the following function (logarithmic fit):

$$\left[\frac{\Delta f(t)}{f_{init}} \right] = a_0 + a_1 \times \ln(a_2 \times t + 1)$$

where

$\Delta f(t)$ is the frequency difference of the crystal t days after the start of the aging cycle and the initial frequency f_{init} measured after the stabilization time t_{stab} (the time origin for measurements analysis shall be the beginning of the stabilization period).

The coefficients a_0 , a_1 and a_2 are constants to be determined from the least squares fit.

The default fitting algorithm is the logarithmic fit. In some cases, namely when the aging response has a very small curvature, the logarithmic fit may not yield reasonable results. In this case, the following polynomial fit is recommended to be calculated additionally:

$$\left[\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}} \right] = a_0 + a_1 \times t + a_2 \times t^{\frac{1}{2}} + a_3 \times t^{\frac{1}{3}}$$

This approach should only be used if the square root of the least square fit variance (SLQ) of the measurements from the polynomial fit is at least five times smaller than that of the logarithmic fit.

The total frequency change and the aging rate at the end of the specified aging period ($t = T_a$) shall be determined from the fitting equation using the constants determined from the least squares fit. The square root of the least squares fit variance of the measurements from the curve-fit function shall not exceed 5 % of the total aging change allowed during the test period.

For the logarithmic fitting (default), the aging rate (in ppm or ppb¹ per day) at $t = T_a$ is:

$$\left[\frac{d\left(\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}}\right)}{dt} \right]_{t=T_a} = \frac{a_1 \times a_2}{a_2 \times T_a + 1} \approx \frac{f(T_a + 1) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

If the polynomial fitting was used, the aging rate at $t = T_a$ ($T_a > 0$) is:

$$\left[\frac{d\left(\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}}\right)}{dt} \right]_{t=T_a} = a_1 + \frac{a_2}{2} \times T_a^{-\frac{1}{2}} + \frac{a_3}{3} \times T_a^{-\frac{2}{3}}$$

The projected total frequency change for a time period shall be calculated with the following formulas:

$$\text{Aging per month} \approx \frac{f(T_a + 30) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

$$\text{Aging per (1st) year} \approx \frac{f(T_a + 365) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

¹ ppm = parts per million; ppb = parts per billion.

Aging over N years $\approx \frac{f(T_a + N \times 365) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$

The resistance R_1 shall never exceed the specified maximum values.

4.9.24.9.4 Extended ageing ~~(non-destructive)~~

4.9.4.1 Purpose

The purpose is to evaluate the reliability and long-term performance.

4.9.4.2 Procedure

This test shall be carried out in accordance with 4.9.1, except that the continuous periods shall be 1 000 h, 2 000 h or 8 000 h, as prescribed in the detail specification and shall be used for information purposes only.

The measurements shall be carried out ~~according to 4.7.1 except that they shall be made~~ at (25 ± 2) °C or any other specified reference temperature in accordance with IEC 60444-5 or equivalent.

The measurement intervals can be extended to two weeks or longer. For the intermediate and the final measurement, the crystals can be removed from the oven, and stored at room temperature for 1 h. Thermal shocks should be avoided.

4.9.4.3 Evaluation

The difference between the highest and lowest frequency measurement shall not exceed the specified value (if applicable). The resistance R_1 shall never exceed the specified maximum values.

~~NOTE These tests are conducted~~ This test shall be used for information only. The crystal units used for these tests should not be supplied to any customer.

This test shall be used for information only. The crystal units used for these tests should not be supplied to any customer.

Annex A (normative)

Procedure for the determination of the fitting parameters for the frequency aging

A.1 Assumption

A general description of frequency aging is possible in the form of:

$$\Delta f/f(t, T) = g(t) \times h(T)$$

where

$$g(t) = b_0 + b_1 \times \log(b_2 \times t + 1) \text{ (logarithmic fit);}$$

or

$$g(t) = c_0 + c_1 \times (t - t_0) + c_2 \times (t - t_0)^{1/2} + c_3 \times (t - t_0)^{1/3} \text{ (polynomial fit);}$$

and

$$h(T) = a_1 \times \exp(E_a \times (1/T_{\text{ref}} - 1/T)/k)$$

where

k is Boltzmann's constant ($k \approx 8,617 \times 10^{-5}$ eV/K), and the temperatures are given in K;
 T_{ref} is 298 K.

A.2 Determination of the fitting parameters b_0, b_1, b_2 (and/or c_0, c_1, c_2, c_3) and a_1 , and E_a

The procedure of Table A.1 shall be applied.

Table A.1 – Procedure for the determination of the frequency aging parameters

Procedure	Conditions
Aging test procedure	Passive
Reflow solder test	2x ROHS-profile (IEC 61760-1:2006) ^a
Initial pre-aging (time and temperature)	48 h at >20 K above upper operating temperature, but $T <$ upper storage temperature
Sample size per lot (from one production lot)	$\geq 30^*$ depending on needed confidence level
Number of aging temperatures	3
Recommended aging temperatures	85 °C, 105 °C, 125 °C, 150 °C ^a depending on application, $T <$ specified upper storage temperature
Recommend temperature for measurement	(25 ± 2) °C, measurement > 1 h after removal from the temperature chamber. Avoid thermal shocks.
Recommended aging time	500 h, 1 000 h, 2 000 h ^a depending on needed confidence level
Test intervals (in "logarithmic" steps)	After 48 h stabilization: 24 h, 72 h, 250 h, 500 h, 750 h, 1 000 h (1 500 h, 2 000 h)
Algorithms to determine $g(t)$ and $h(T)$	Least square fitting ^b $g(t)$: log fit and polynomial fit Polynomial fit – only if sum of least squares SLQ < 5 times SLQ of logarithmic fit $h(T)$: least square fitting Result: E_a E_a may vary with time. Use E_a for $t \geq 500$ h
^a If not otherwise specified. ^b For monotonic aging, all measurements shall be used for the curve fitting. If the aging trend is not monotonic, the measurement period shall be extended up to 40 days or longer after the extremum in the aging trend, and the measurements from 12 days after the extremum is reached at the end of the aging measurement period shall be fit to the above functions for $g(t)$.	

Bibliography

- [1] IEC 60068-2-58:1999, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Td: Solderability, resistance to dissolution of metallization and soldering heat of Surface Mounting Devices (SMD)*
- [2] IEC 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2: Tests methods – Test Fh: Vibration, broad-band random (digital control) and guidance*
- [3] IEC 60410:1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*
- [4] IEC QC 001002-1:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 1: Administration*
- [5] IEC Guide 102:1996, *Electronic components. Specification structures for quality assessment (Qualification approval and capability approval)*
- [6] Wang S-Y, Neubig B., Sato K., Hosoda T., Seydel E, Wu J-H, Ma T-F, Wang Ji, *Aging Models and Parameters of Quartz Crystal Resonators and Oscillators*; Proc. 2015 Symp on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications, p. 382-385
- [7] Shen, C-N, Yang X-W, Chang C, Chao M-C, *The Study of Activation Energy (Ea) by Aging and High Temperature Storage for Quartz Resonator's Life Evaluation*; Proc. 2010 Symp on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications, p. 118-122

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60122-1:2002+AMD1:2017 CSV

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	47
1 Généralités	49
1.1 Domaine d'application	49
1.2 Références normatives	49
1.3 Ordre de priorité	51
2 Terminologie et prescriptions générales	51
2.1 Généralités	51
2.2 Termes, définitions et classification des phénomènes	51
2.3 Valeurs et caractéristiques préférentielles	66
2.3.1 Gammes de températures en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) pour un fonctionnement à température ambiante	66
2.3.2 Gammes de températures élevées en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) convenant pour un fonctionnement en enceinte	66
2.3.3 Tolérance de fréquence (1×10^{-6})	66
2.3.4 Conditions de fonctionnement	66
2.3.5 Niveaux d'excitation	66
2.3.6 Influence du niveau d'excitation	67
2.3.7 Catégorie climatique	67
2.3.8 Sévérité des secousses	67
2.3.9 Sévérité des vibrations	67
2.3.10 Sévérité des chocs	68
2.3.11 Taux de fuite	68
2.4 Marquage	68
3 Procédures d'assurance de la qualité	68
3.1 Etape initiale de fabrication	69
3.2 Modèles associables	69
3.3 Sous-traitance	69
3.4 Agrément du fabricant	69
3.5 Procédures d'agrément	69
3.5.1 Généralités	69
3.5.2 Agrément de savoir-faire	69
3.5.3 Homologation	70
3.6 Procédures pour l'agrément de savoir-faire	70
3.6.1 Généralités	70
3.6.2 Aptitude à l'agrément de savoir-faire	70
3.6.3 Demande d'agrément de savoir-faire	70
3.6.4 Obtention de l'agrément de savoir-faire	70
3.6.5 Manuel de savoir-faire	70
3.7 Procédures pour l'homologation	70
3.7.1 Généralités	70
3.7.2 Aptitude à l'agrément du fabricant	70
3.7.3 Demande d'homologation	70
3.7.4 Obtention de l'homologation	71
3.7.5 Contrôle de conformité de la qualité	71
3.8 Méthodes d'essai	71
3.9 Exigences de sélection	71

3.10	Travaux de retouche et de réparation	71
3.10.1	Retouche	71
3.10.2	Réparation	71
3.11	Rapports certifiés de lots acceptés	71
3.12	Validité de livraison	71
3.13	Acceptation pour livraison	71
3.14	Paramètres non destinés au contrôle	72
4	Procédures d'essai et de mesure	72
4.1	Généralités	72
4.2	Autres méthodes d'essai	72
4.3	Précision de mesure	72
4.4	Conditions normales d'essai	72
4.5	Inspection visuelle	73
4.5.1	Inspection visuelle, essai A	73
4.5.2	Inspection visuelle, essai B	73
4.5.3	Inspection visuelle, essai C	73
4.6	Inspection dimensionnelle et de mesure	73
4.6.1	Dimensions, essai A	73
4.6.2	Dimensions, essai B	73
4.7	Procédures d'essais électriques	73
4.7.1	Fréquence et résistance de résonance	73
4.7.2	Influence du niveau d'excitation	73
4.7.3	Fréquence et résistance de résonance en fonction de la température	74
4.7.4	Réponses indésirables	74
4.7.5	Capacité parallèle	74
4.7.6	Fréquence et résistance avec charge	75
4.7.7	Plage de décalage de fréquence (f_{L1} , f_{L2})	75
4.7.8	Paramètres dynamiques	75
4.7.9	Résistance d'isolement	75
4.8	Méthodes d'essai mécaniques et en environnement	75
4.8.1	Robustesse des sorties (destructif)	75
4.8.2	Essais d'étanchéité (non destructifs)	76
4.8.3	Brasage (brasabilité et résistance à la chaleur de brasage) (destructif)	78
4.8.4	Variation rapide de température par immersion en utilisant la méthode de deux bains (non destructif)	78
4.8.5	Variation rapide de température avec un temps de transition prescrit (non destructif)	78
4.8.6	Secousses (destructif)	78
4.8.7	Vibrations (destructif)	78
4.8.8	Chocs (destructif)	79
4.8.9	Chutes libres (destructif)	79
4.8.10	Accélération, constante (non destructif)	79
4.8.11	Chaleur sèche (non destructif)	79
4.8.12	Chaleur humide, essai cyclique (destructif)	79
4.8.13	Froid sec (non destructif)	79
4.8.14	Séquence climatique (destructif)	79
4.8.15	Chaleur humide, essai continu (destructif)	80
4.8.16	Tenue aux solvants de nettoyage (non destructif)	80

4.9	Méthodes d'essai d'endurance	80
4.9.1	~~Vieillissement (non destructif)~~ Essai de vieillissement normalisé pour la vérification de la production	80
4.9.2	Vieillissement accéléré	81
4.9.3	Essai de vieillissement de référence	82
4.9.24.9.4	~~Vieillissement prolongé (non destructif)~~	84
Annexe A (normative) Procédure pour la détermination des paramètres d'ajustement pour le vieillissement en fréquence		85
Bibliographie.....		87
Figure 1 – Symbole et circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique près d'une résonance		53
Figure 2 – Impédance $ Z $, résistance R_e , réactance X_e et réactance de la branche série X_1 d'un résonateur piézoélectrique représentées en fonction de la fréquence		56
Figure 3 – Diagramme donnant l'impédance et l'admittance d'un résonateur piézoélectrique		57
Figure 4 – Fréquences de résonance, d'anti-résonance et de résonance avec capacité de charge		58
Figure 5 – Circuit électrique équivalent du résonateur piézoélectrique avec une capacité (de charge) C_L		65
Figure 6 – Outil de pliage des sorties		77
Tableau 1 – Liste des symboles utilisés pour le circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique.....		61
Tableau 2 – Solutions pour les différentes fréquences caractéristiques.....		63
Tableau 3 – Valeurs minimales pour le rapport Q^2/r qu'il faut attendre pour des types différents de résonateurs piézoélectriques		63
Tableau 4 – Relations approximatives entre les fréquences caractéristiques et la fréquence de résonance série f_s d'un résonateur piézoélectrique		64
Tableau 5 – Facteurs d'accélération temporelle pour $E_a = 0,38$ eV		82
Tableau A.1 – Procédure pour la détermination des paramètres de vieillissement en fréquence		86

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSONATEURS À QUARTZ SOUS ASSURANCE DE LA QUALITÉ –

Partie 1: Spécification générique

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 60122-1 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2002-08) [documents 49/551/FDIS et 49/558/RVD] et son amendement 1 (2017-02) [documents 49/1254/FDIS et 49/1259/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 60122-1 a été établie par le comité d'études 49 de l'IEC: Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Cette troisième édition constitue une révision technique.

L'IEC 60122-1 est la première partie de la nouvelle édition de la série IEC 60122 pour les résonateurs à quartz sous assurance de la qualité.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 3.

L'IEC 60122 comprend les parties suivantes présentées sous le titre général: Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité:

- Partie 1: Spécification générique (IEC 60122-1);
- Partie 2: Guide pour l'emploi des résonateurs à quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence (IEC 60122-2 à présent);
- Partie 3: Encombrements normalisés et connexions des sorties (IEC 60122-3);
- Partie 4: Spécification intermédiaire – Agrément de savoir-faire (IEC 61178-2 à présent);
- Partie 4-1: Spécification particulière cadre – Agrément de savoir-faire (IEC 61178-2-1 à présent);
- Partie 5: Spécification intermédiaire – Homologation (IEC 61178-3 à présent);
- Partie 5-1: Spécification particulière cadre – Homologation (IEC 61178-3-1 à présent)

Le numéro QC qui figure sur la page de couverture de la présente publication est le numéro de spécification dans le Système IEC d'Assurance de la Qualité des Composants Electroniques (IECQ).

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

RÉSONATEURS À QUARTZ SOUS ASSURANCE DE LA QUALITÉ –

Partie 1: Spécification générique

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60122 spécifie les méthodes d'essai et les exigences générales pour les résonateurs à quartz dont la qualité est garantie par les procédures d'agrément de savoir-faire ou par les procédures d'homologation.

1.2 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).

IEC 60027 (toutes les parties), *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

IEC 60050(561):1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 561: Dispositifs piézoélectriques pour la stabilisation des fréquences et le filtrage*

IEC 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*

IEC 60068-2-1:1990, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais A: Froid*

IEC 60068-2-2:1974, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-3:1969, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ca: Essai continu de chaleur humide*

IEC 60068-2-6:1995, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-7:1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ga: Accélération constante*

IEC 60068-2-13:1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai M: Basse pression atmosphérique*

IEC 60068-2-14:1984, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai N: Variations de température*

IEC 60068-2-17:1994, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2: Essais – Essai Q: Etanchéité*

IEC 60068-2-20:1979, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai T: Soudure*

IEC 60068-2-21:1999, *Essais d'environnement – Partie 2-21: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*

IEC 60068-2-27:1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-29:1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Eb et guide: Secousses*

IEC 60068-2-30:1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Db et guide: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 heures)*

IEC 60068-2-32:1975, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ed: Chute libre (méthode 1)*

IEC 60068-2-45:1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai XA et guide: Immersion dans les solvants de nettoyage*

IEC 60122-3:2001, *Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité – Partie 3: Encombrements normalisés et connexions des sorties*

IEC 60444-1:1986, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π – Première partie: 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 π*

IEC 60444-2:1980, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π – Deuxième partie: Méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz*

IEC 60444-4:1988, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π – 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*

IEC 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*

IEC 60444-6:1995, *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz – Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)*

IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

IEC 61178-2:1993, *Résonateurs à quartz – Spécification dans le Système IEC d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ) – Partie 2: Spécification intermédiaire – Agrément de savoir-faire*

IEC 61178-3:1993, *Résonateurs à quartz – Spécification dans le Système IEC d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ) – Partie 3: Spécification intermédiaire – Homologation*

IEC 61760-1:2006, *Technique du montage en surface – Partie 1: Méthode de normalisation pour la spécification des composants montés en surface (CMS)*

IEC QC 001001:2000, *Système IEC d'Assurance de la Qualité des Composants Electroniques (IECQ) – Règles fondamentales*

IEC QC 001002-2:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 2: Documentation* (publiée en anglais uniquement)

IEC QC 001002-3:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 3: Approval Procedures* (publiée en anglais uniquement)

IEC QC 001005:2000, *Register of firms, products and services approved under the IECQ System, including ISO 9000* (publiée en anglais uniquement)

ISO 1000,1992, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités*

1.3 Ordre de priorité

En cas de divergence pour quelque raison que ce soit, les documents doivent être classés dans l'ordre de priorité suivant:

- spécification particulière;
- spécification intermédiaire;
- spécification générique;
- tout autre document international (par exemple de l'IEC) auquel on fait référence.

Le même ordre de priorité s'applique aux documents nationaux équivalents.

2 Terminologie et prescriptions générales

2.1 Généralités

Les unités, symboles graphiques, symboles littéraux et terminologie doivent, autant que possible, être issus des normes suivantes: IEC 60027, IEC 60050(561), IEC 60617, ISO 1000.

2.2 Termes, définitions et classification des phénomènes

Les paragraphes suivants contiennent la terminologie additionnelle applicable aux résonateurs à quartz et décrivent certains phénomènes dans ce contexte.

2.2.1

cristal (lame)

matière piézoélectrique taillée selon une forme géométrique, des dimensions et une orientation donnée par rapport aux axes cristallographiques du cristal

2.2.2

électrode

plaque ou film électriquement conducteur en contact avec, ou à proximité d'un cristal, permettant d'appliquer à ce cristal un champ électrique

2.2.3

lame vibrante de quartz

élément de quartz monté qui vibre lorsqu'un champ électrique alternatif existe entre les électrodes

2.2.4

montage

moyens par lesquels le résonateur à quartz est monté dans son enveloppe

2.2.5**enveloppe**

enveloppe protégeant le ou les résonateurs à quartz et leur monture

2.2.6**type d'enveloppe**

enveloppe de résonateur de dimension et de matériau définis avec une méthode de fermeture définie

2.2.7**résonateur à quartz**

lame vibrante montée dans une enveloppe fermée

2.2.8**support de quartz**

composant dans lequel le résonateur à quartz est enfiché et qui assure sa fixation et ses connexions électriques

2.2.9**mode de vibration**

configuration du mouvement des particules élémentaires dans un corps vibrant, résultant des contraintes appliquées à ce corps, de la fréquence de l'oscillation et des conditions aux limites. Les modes de vibration les plus courants sont:

- mode de flexion;
- mode d'extension;
- mode de cisaillement plan;
- mode de cisaillement d'épaisseur.

2.2.10**résonateur à quartz sur le mode fondamental**

résonateur à quartz dans lequel le résonateur est conçu pour fonctionner à la plus basse fréquence d'un mode de vibration donné

2.2.11**résonateur à quartz sur le mode partiel**

résonateur à quartz dans lequel le résonateur est conçu pour fonctionner sur un ordre plus haut que le fondamental du mode de vibration donné

2.2.12**ordre d'un partiel**

rang des partiels successifs d'un mode de vibration donné dans l'ordre des fréquences croissantes en commençant par un pour le mode fondamental. Pour le mode de cisaillement et le mode d'extension, l'ordre d'un partiel est égal au quotient de la fréquence du partiel par la fréquence fondamentale, arrondi à l'entier le plus voisin

2.2.13**circuit équivalent d'un résonateur à quartz**

circuit électrique qui a la même impédance que le résonateur à quartz dans la zone des fréquences de résonance et d'anti-résonance désirées. Il est représenté par une inductance, capacité et résistance en série, cette branche série étant shuntée par une capacité entre les sorties du résonateur. Les paramètres de la branche série, constituée par l'inductance, la capacité et la résistance sont exprimés respectivement par L_1 , C_1 et R_1 . Ils sont appelés «paramètres dynamiques» du résonateur à quartz. La capacité parallèle du shunt est appelée C_0 (voir la figure 1).

Ces paramètres sont indépendants de la fréquence pour les modes de vibration isolés. En général, le mode en question est suffisamment isolé pour permettre cette hypothèse. Lorsque

ce n'est le cas, les équations et les méthodes de mesure décrites ici ne s'appliquent pas. Pour l'identification des symboles utilisés dans cette norme, voir le tableau 1.

NOTE 1 Le circuit équivalent ne représente pas toutes les caractéristiques du résonateur à quartz.

NOTE 2 Les valeurs R_e , X_e , G_p et B_p varient rapidement autour de la fréquence de résonance, où:

R_e est la résistance série du circuit équivalent du résonateur;

X_e est la réactance série du circuit équivalent du résonateur;

G_p est la conductance parallèle du circuit équivalent du résonateur;

B_p est la susceptance parallèle du circuit équivalent du résonateur;

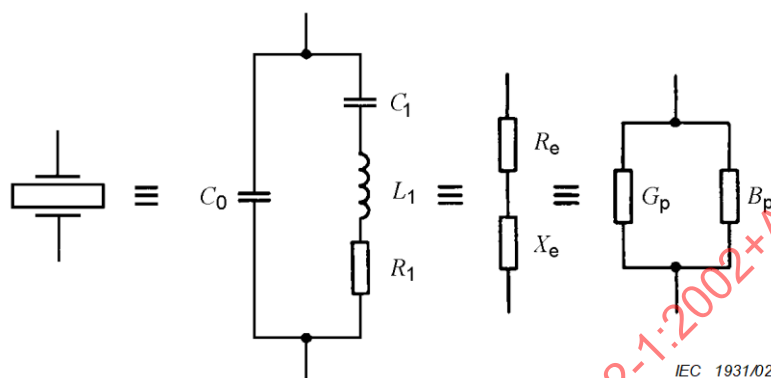


Figure 1 – Symbole et circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique près d'une résonance

2.2.14

résistance dynamique (R_1)

résistance dans la branche dynamique (série) du circuit équivalent

2.2.15

inductance dynamique (L_1)

inductance dans la branche dynamique (série) du circuit équivalent

2.2.16

capacité dynamique (C_1)

capacité dans la branche dynamique (série) du circuit équivalent

2.2.17

capacité statique (C_0)

capacité parallèle avec la branche dynamique du circuit équivalent

2.2.18

paramètres des résonateurs piézoélectriques

les paramètres fondamentaux C_1 , L_1 , R_1 et C_0 définissent le circuit électrique équivalent montré à la figure 1, et on peut à partir d'eux en déduire tous les autres paramètres. Pour une fréquence donnée, les paramètres du circuit électrique équivalent s'approchent généralement de valeurs constantes lorsque l'amplitude de la vibration tend vers zéro. L'amplitude que l'on peut tolérer avant que les paramètres ne soient sensiblement affectés, varie dans de grandes proportions pour des résonateurs de types différents et ne peut être déterminée que par l'expérience.

L'équation suivante qui donne l'impédance Z ou l'admittance Y :

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{j}{\omega C_0} \times \frac{\Omega - j\delta}{1 - \Omega + j\delta} \quad (1)$$

du circuit électrique équivalent du résonateur piézoélectrique est l'équation de base à partir de laquelle sont écrites les relations entre les divers paramètres.

Dans l'équation (1):

$$\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2} \quad \text{et} \quad \delta = 2\pi f C_0 R_1$$

sont respectivement le facteur de fréquence normalisé et le facteur d'amortissement normalisé. Voir le tableau 1 pour des définitions de f_p , f_s et des autres symboles utilisés dans l'équation (1) et pour d'autres paramètres essentiels. Les fréquences caractéristiques de l'équation (1) sont définies dans le tableau 2.

La valeur de l'impédance du circuit électrique équivalent ($|Z|$), sa composante résistive (R_e), sa composante réactive (X_e), et la réactance X_1 de la branche L_1 , C_1 , R_1 sont représentées graphiquement en fonction de la fréquence à la figure 2, pour définir les fréquences caractéristiques différentes. $|Z_m|$ et $|Z_n|$ indiquent respectivement l'impédance minimale et maximale, et R_r , R_a dénotent les impédances à l'angle de phase zéro. Ces courbes n'ont néanmoins qu'un caractère qualitatif et elles ne représentent pas un résonateur piézoélectrique particulier.

On a, pour mieux exposer les faits, représenté à la figure 3, les cercles d'impédance et d'admittance d'un résonateur piézoélectrique. Cependant, cette représentation par un cercle de l'impédance ou de l'admittance d'un résonateur piézoélectrique n'est valable que si le diamètre du cercle dans le diagramme relatif à l'admittance est grand en comparaison de la variation de $2\pi f C_0$ dans la gamme de résonance ou si $r \ll Q^2$; ces conditions sont satisfaites dans la plupart des résonateurs. Si ces dernières ne sont pas remplies, la courbe donnant l'admittance présente une allure cissoïdale. Dans le reste de cette norme on suppose que l'impédance (ou l'admittance) du résonateur peuvent être représentées par un diagramme en forme de cercle. Le tableau 3 donne les valeurs pour Q , r , et Q^2/r pour des résonateurs de types divers montrant ainsi que cette hypothèse est pratiquement valable pour tous les cas.

Il est nécessaire de faire des approximations lorsque l'on déduit des équations pratiques applicables pour des usages généraux. C'est la somme des erreurs imputables à ces approximations et aux erreurs de mesures qui détermine la précision globale des paramètres, déduits par expérience.

Comme une première approximation est suffisante pour la plupart des applications pratiques, les hypothèses suivantes peuvent être faites:

$$f_m = f_r = f_s \quad \text{et} \quad f_a = f_n = f_p$$

Des relations plus exactes entre les fréquences caractéristiques f_m , f_r , f_a , f_p , f_n , et la fréquence de résonance série f_s d'un résonateur, valables pour le facteur de mérite $M > 10$ et le rapport de capacité $r > 10$, sont indiquées dans le tableau 4. Ces relations ont été déduites par divers auteurs à condition que $M \gg 1$.

La séparation entre la fréquence de résonance parallèle et la fréquence de résonance série est donnée par:

$$\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2} = \frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{r} \quad (2)$$

L'approximation:

$$\begin{aligned}
 \frac{f_p - f_s}{f_s} &= \sqrt{1 + r^{-1}} - 1 \\
 &= \frac{1}{2r} \left(1 - \frac{1}{4r} + \dots \right) \approx \frac{1}{2r} \\
 &= \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

peut être utilisée pour des valeurs de r plus grandes (par exemple quand r est supérieur à 25, l'erreur est inférieure à 1 %).

2.2.19

fréquence de résonance (f_r)

la plus basse des deux fréquences du résonateur à quartz seul, dans des conditions spécifiées, pour laquelle le résonateur à quartz est équivalent à une résistance pure

2.2.20

résistance de résonance (R_r)

la résistance du résonateur à quartz seul à la fréquence de résonance f_r

2.2.21

fréquence d'anti-résonance (f_a)

la plus haute des deux fréquences du résonateur à quartz seul, dans des conditions spécifiées, pour laquelle le résonateur à quartz est équivalent à une résistance pure

2.2.22

capacité de charge (C_L)

la capacité externe effective associée au résonateur à quartz qui détermine la fréquence de résonance à la charge f_L

2.2.23

fréquence de résonance à la charge (f_L)

une des deux fréquences du résonateur à quartz associé à une capacité de charge série ou parallèle, dans des conditions spécifiées, pour laquelle la combinaison est équivalente à une résistance pure. Cette fréquence est la plus basse des deux fréquences lorsque la capacité de charge est en série et la plus haute lorsqu'elle est en parallèle (voir la figure 4).

Pour la valeur spécifiée de la capacité de charge C_L , ces fréquences sont identiques pour toutes les applications pratiques et sont données par:

$$\frac{1}{f_L} = 2\pi \sqrt{\frac{L_1 C_1 (C_0 + C_L)}{C_1 + C_0 + C_L}}
 \tag{4}$$

NOTE 1 Les fréquences définies en 2.2.19, 2.2.21 et 2.2.23 sont données comme les termes les plus utilisés habituellement. Il y a beaucoup d'autres fréquences associées aux résonateurs à quartz et pour en obtenir une explication complète, il convient de consulter les tableaux 2 et 4.

NOTE 2 Il convient de consulter le tableau 1, l'IEC 60444-1 et l'IEC 60444-5 lorsque des précisions plus grandes sont exigées ou lorsque des données secondaires doivent être dérivées des mesures de fréquence (par exemple, les valeurs des paramètres motionnels d'un résonateur à quartz).

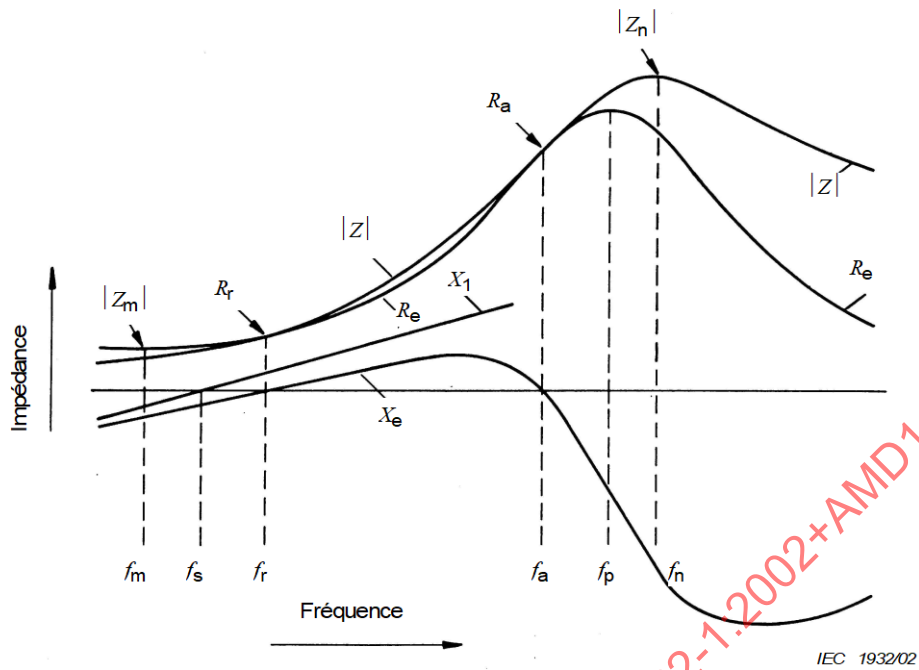
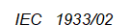
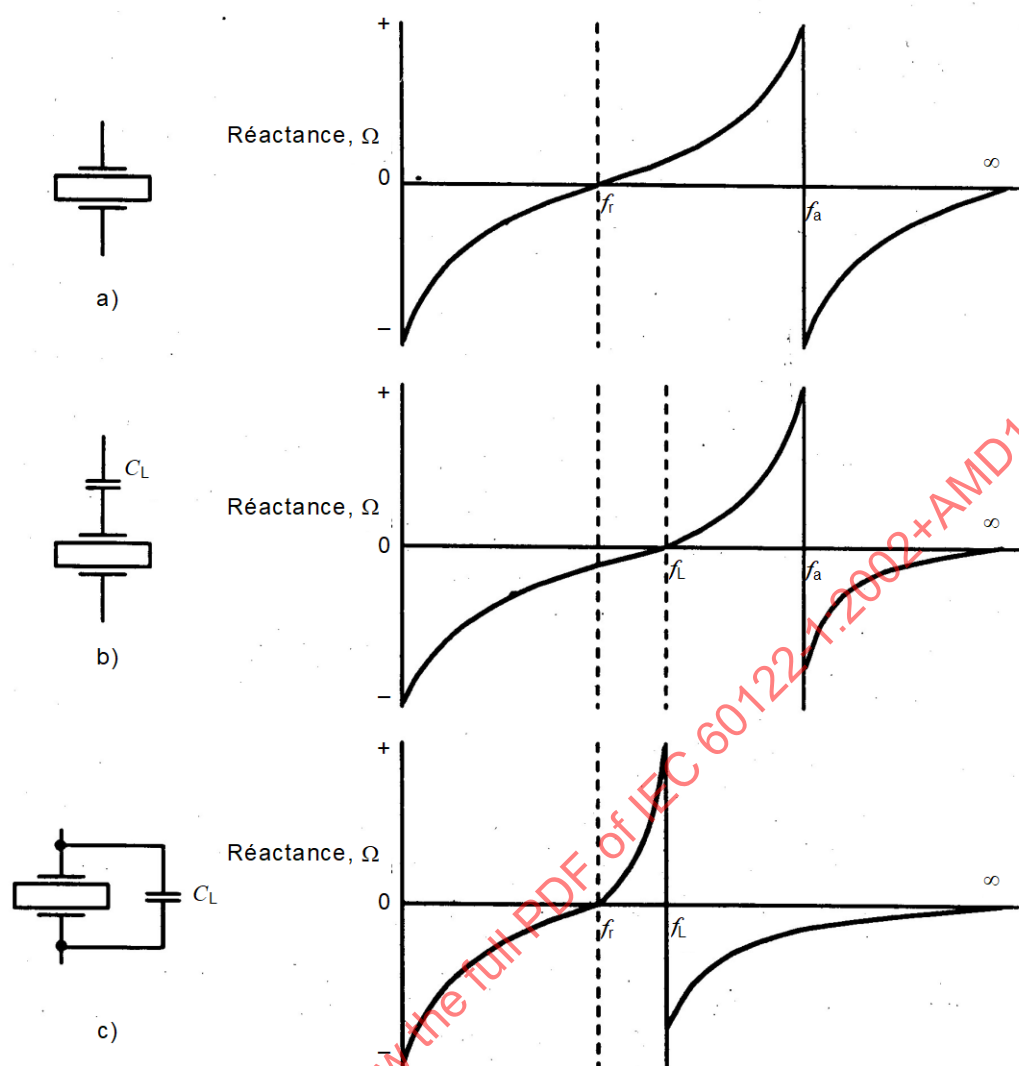


Figure 2 – Impédance $|Z|$, résistance R_e , réactance X_e et réactance de la branche série X_1 d'un résonateur piézoélectrique représentées en fonction de la fréquence



Les symboles sont conformes à ceux utilisés au tableau 1 et à la figure 2.



IEC 1934/02

NOTE 1 Les valeurs des capacités de charge montrées en b) et c) sont égales.

NOTE 2 Voir 2.2.19, 2.2.21 et 2.2.23.

Figure 4 – Fréquences de résonance, d'anti-résonance et de résonance avec capacité de charge

2.2.24

résistance de résonance à la charge (R_L)

résistance du résonateur à quartz en série avec une capacité externe donnée à la fréquence de résonance à la charge f_L

NOTE La valeur de R_L est liée à la valeur de R_r avec une bonne approximation par l'expression suivante:

$$R_L \cong R_r \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \quad (5)$$

2.2.25

fréquence nominale (f_{nom})

fréquence attribuée au résonateur à quartz par le fabricant

2.2.26**fréquence de fonctionnement (f_w)**

fréquence de fonctionnement du résonateur à quartz avec ses circuits associés

2.2.27**décalage de la fréquence de résonance à la charge (Δf_L)**

$$\Delta f_L = f_L - f_r \quad (6)$$

Sa valeur approximative est:

$$\Delta f_L \cong \frac{f_r C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad (7)$$

Quand on se sert du décalage de fréquence de résonance à la charge Δf_L , on peut remplacer l'indice inférieur L par la valeur réelle de la capacité de charge utilisée (en picofarads); on écrit ainsi Δf_{30} ou Δf_{20} par exemple.

2.2.28**décalage relatif de la fréquence de résonance à la charge (D_L)**

$$D_L = \frac{f_L - f_r}{f_r} \quad (8)$$

Sa valeur approximative est:

$$D_L \cong \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad (9)$$

Quand on se sert du décalage relatif de la fréquence de résonance à la charge D_L , on peut remplacer l'indice inférieur L par la valeur de la capacité de charge utilisée. Exemple: D_{30} pour 30 pF.

2.2.29**plage de décalage de fréquence ($\Delta f_{L1,L2}$)**

$$\Delta f_{L1,L2} = |f_{L1} - f_{L2}| \quad (10)$$

Sa valeur approximative est:

$$\Delta f_{L1,L2} = \left| \frac{f_r C_1 (C_{L2} - C_{L1})}{2(C_0 + C_{L1})(C_0 + C_{L2})} \right| \quad (11)$$

Pour désigner la valeur de la plage de décalage de fréquence entre deux capacités de charge données, par exemple 20 pF et 30 pF, on écrira: $\Delta f_{20,30}$.

2.2.30**plage de décalage de fréquence relative ($D_{L1,L2}$)**

$$D_{L1,L2} = \left| \frac{f_{L1} - f_{L2}}{f_r} \right| = |D_{L1} - D_{L2}| \quad (12)$$

Sa valeur approximative est:

$$D_{L1,L2} = \left| \frac{C_1 (C_{L2} - C_{L1})}{2(C_0 + C_{L1})(C_0 + C_{L2})} \right| \quad (13)$$

Pour désigner la valeur de la plage de décalage de fréquence relative entre deux capacités de charge données, par exemple 20 pF et 30 pF, on écrira: $D_{20,30}$.

2.2.31**sensibilité de fréquence relative (S)**

$$S = \frac{dD_L}{dC_L} \cong \frac{-C_1}{2(C_0 + C_L)^2} \quad (14)$$

Pour désigner la valeur de la sensibilité de fréquence relative pour une capacité de charge donnée, par exemple 30 pF, on écrira: S_{30}

2.2.32**gamme de températures de fonctionnement**

gamme de températures mesurées sur l'enveloppe dans laquelle le résonateur à quartz doit être dans les tolérances spécifiées

2.2.33**gamme de températures de service**

gamme de températures mesurées sur l'enveloppe, dans laquelle le résonateur à quartz fonctionne, sans nécessairement être dans les tolérances spécifiées et ne subir pas de dégradation permanente

2.2.34**gamme de températures de stockage**

températures minimales et maximales, mesurées sur l'enveloppe et auxquelles le résonateur peut être stocké sans détérioration ou dégradation de ses performances

2.2.35**température de référence**

température à laquelle certains relevés de mesures de résonateurs à quartz sont effectués. Pour les résonateurs à température contrôlée, la température de référence est le point milieu de la gamme de températures contrôlée. Pour les résonateurs à température non contrôlée, la température de référence est normalement $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

2.2.36**niveau d'excitation**

mesure des conditions de fonctionnement imposées au résonateur. Ceci peut s'exprimer en termes de passage de courant ou puissance dissipée dans le résonateur

2.2.37**influence du niveau d'excitation**

l'influence du niveau d'excitation (DLD) résulte dans le changement des conditions du niveau d'excitation sur la résistance de résonance du résonateur. Ce paramètre peut s'exprimer en définissant le rapport de résistance entre deux niveaux d'excitation spécifiés. Le rapport est représenté comme suit:

$$\frac{R_{r1}}{R_{r2}}$$

ou

R_{r1} est la résistance au niveau d'excitation le plus bas;

R_{r2} est la résistance au niveau d'excitation le plus haut.

2.2.38**réponse indésirable**

fréquence de résonance d'un résonateur autre que la fréquence associée à la fréquence de fonctionnement

2.2.39**tolérance de fréquence**

écart maximal autorisé de la fréquence de fonctionnement dû à une cause spécifiée ou à une combinaison de causes. La tolérance de fréquence s'exprime habituellement en millionièmes (1×10^{-6}) de la fréquence nominale

NOTE Les tolérances employées normalement sont:

- écart de la fréquence nominale à la température de référence dans des conditions spécifiées;
- écart dans la gamme de températures de la fréquence à la température de référence spécifiée;
- écart en fonction du vieillissement dans des conditions spécifiées;
- écart de la fréquence nominale dû à toutes causes (tolérance totale).

Tableau 1 – Liste des symboles utilisés pour le circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique

Symboles	Définition	Unités SI	Références		
			Equations	Tableaux	Figures
B_p	Susceptance parallèle équivalente du résonateur	S		2	1
C_0	Capacité statique dans le circuit électrique équivalent	F	2, 3		1, 5
C_1	Capacité dynamique dans le circuit électrique équivalent	F	2, 3		1, 5
f	Fréquence	Hz			3
f_a	Fréquence d'anti-résonance, susceptance zéro	Hz		2, 4	2, 3
f_m	Fréquence d'admittance maximale (impédance minimale)	Hz		2, 4	2, 3
f_n	Fréquence d'admittance minimale (impédance maximale)	Hz		2, 4	2, 3
f_p	Fréquence de résonance parallèle (sans perte)	Hz	2, 3	2, 4	2, 3
	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}}}$				
f_r	Fréquence de résonance, susceptance zéro	Hz		2, 4	2, 3, 4
f_s	Fréquence de résonance série (dynamique)	Hz	2, 3	2, 4	2, 3
	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$				
G_p	Conductibilité parallèle équivalente				1
L_1	Inductance dynamique dans le circuit électrique équivalent	H			1, 5
M	Facteur de mérite	Sans dimension		3, 4	
	$M = \frac{Q}{r}$ d'un résonateur				

Symboles	Définition	Unités SI	Références		
			Equations	Tableaux	Figures
Q	Facteur de qualité $Q = \frac{W_s L_1}{R_1}$	Sans dimension		3	
r	Rapport de capacité: $r = \frac{C_0}{C_1}$	Sans dimension	2, 3	2, 3, 4	
R_a	Impédance pour l'angle de phase zéro au voisinage de l'anti-résonance	Ω			2, 3
R_e	Résistance série équivalente du résonateur	Ω			1, 2
R_r	Impédance à f_r , pour l'angle de phase zéro	Ω			2, 3
R_1	Résistance dynamique dans le circuit électrique équivalent	Ω	15	2	1, 3, 5
X_e	Réactance série équivalente du résonateur	Ω			1, 2
X_0	Réactance de la capacité statique à la résonance série: $X_0 = \frac{1}{\omega_s C_0}$	Ω			3
X_1	Réactance du bras dynamique série du résonateur: $X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}$	Ω		2	2
Y	Admittance du résonateur: $Y = G_p + jB_p = \frac{1}{Z}$	S	1		
Y_m	Admittance maximale du résonateur	S			3
Y_n	Admittance minimale du résonateur	S			3
Z	Impédance du résonateur: $Z = R_e + jX_e$	Ω	1		
Z_m	Impédance minimale du résonateur	Ω			2, 3
Z_n	Impédance maximale du résonateur	Ω			2, 3
$ Z $	Valeur absolue de l'impédance du résonateur: $Z = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$	Ω		2	2
$ Z_m $	Valeur absolue de l'impédance à f_m (impédance minimale)	Ω			2
$ Z_n $	Valeur absolue de l'impédance à f_n (impédance maximale)	Ω			2
δ	Coefficient normalisé d'amortissement: $\delta = \omega C_0 R_1$	Sans dimension	1	2	
Ω	Facteur de fréquence normalisé: $\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2}$	Sans dimension	1	2	
ω	Pulsation: $\omega = 2\pi f$	rad/s		2	
ω_s	Pulsation à la résonance dynamique: $\omega_s = 2\pi f_s$	rad/s			
C_L	Capacité de charge	F	4, 15	1	4, 5
f_L	Fréquence de résonance d'une combinaison du résonateur avec une capacité de charge C_L $f_L = f_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}}$	Hz	15	1	4

Tableau 2 – Solutions pour les différentes fréquences caractéristiques

Fréquences caractéristiques	Définition	Condition	Equation constitutive pour une fréquence
f_m	Fréquence de l'admittance maximale (impédance minimale)	$\frac{d Z }{d\omega} = 0$	$(\Omega^2 + \delta^2)^2 - 2\delta^2(\Omega + r) - 2\Omega r(1 - \Omega) - \Omega^2 = 0$
f_s	Fréquence de résonance (série) dynamique	$X_1 = 0$	$\Omega = 0$
f_r	Fréquence de résonance	$X_e = B_p = 0$	$\Omega(1 - \Omega) - \delta^2 = 0$
f_a	Fréquence d'antirésonance	$X_e = B_p = 0$	$\Omega(1 - \Omega) - \delta^2 = 0$
f_p	Fréquence de résonance parallèle (sans perte)	$ X_e = \infty$ pour $R_1 = 0$	$\Omega = 1$
f_n	Fréquence de l'admittance minimale (impédance maximale)	$\frac{d Z }{d\omega} = 0$	$(\Omega^2 + \delta^2)^2 - 2\delta^2(\Omega + r) - 2\Omega r(1 - \Omega) - \Omega^2 = 0$

Tableau 3 – Valeurs minimales pour le rapport Q^2/r qu'il faut attendre pour des types différents de résonateurs piézoélectriques

Type du résonateur piézoélectrique	$Q = M r$	r	Q^2/r min
Céramiques piézoélectriques	90 – 500	2 – 40	200
Cristaux piézoélectriques solubles dans l'eau	200 – 50 000	3 – 500	80
Quartz	$10^4 - 10^7$	100 – 50 000	2 000

Tableau 4 – Relations approximatives entre les fréquences caractéristiques et la fréquence de résonance série f_s d'un résonateur piézoélectrique

Fréquence caractéristique	1 ^{ère} approximation		2 ^{ème} approximation	
	$\frac{f}{f_s}$	Ecart $\frac{\Delta f}{f_s}$ à partir d'une valeur plus précise	$\frac{f}{f_s}$	Ecart $\frac{\Delta f}{f_s}$ à partir d'une valeur plus précise
f_m	$\frac{f_m}{f_s} = 1$	$-\frac{1}{2M^2r}$	$\frac{f_m}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}} \right]}$	$-\frac{1}{2M^4r^2}$
f_r	$\frac{f_r}{f_s} = 1$	$\frac{1}{2M^2r}$	$\frac{f_r}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}} \right]}$	$\frac{1}{2M^4r^2}$
f_a	$\frac{f_a}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$-\frac{1}{2M^2r} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$	$\frac{f_a}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}} \right]}$	$-\frac{1}{2M^2r} \times \frac{1}{r}$
f_n	$\frac{f_n}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$\frac{1}{2M^2r} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$	$\frac{f_n}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}} \right]}$	$\frac{1}{2M^2r} \times \frac{1}{r}$
f_p	$\frac{f_p}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$-\frac{1}{8r^2}$	$\frac{f_p}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{r}}$	0

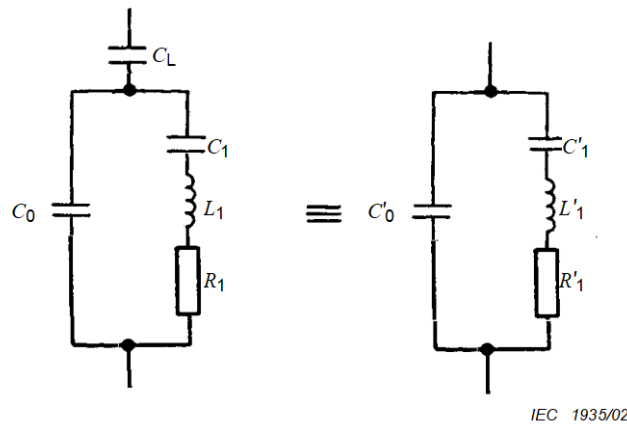


Figure 5 – Circuit électrique équivalent du résonateur piézoélectrique avec une capacité (de charge) C_L

$$L'_1 = L_1 \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2$$

$$C'_1 = C_1 \frac{1}{\left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \left(1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L} \right)} \quad (15)$$

$$R'_1 = R_1 \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2$$

$$C'_0 = \left(\frac{C_0 C_L}{C_0 + C_L} \right)$$

$$f_L = f_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}} \approx f_s \left(1 + \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \right)$$

2.3 Valeurs et caractéristiques préférentielles

De préférence, il convient de choisir les valeurs parmi les paragraphes suivants:

2.3.1 Gammes de températures en degrés Celsius (°C) pour un fonctionnement à température ambiante

–55 à +125	–30 à +80	–10 à +60
–55 à +105	–30 à +70	–10 à +50
–55 à +100	–25 à +80	0 à +60
–55 à +90	–20 à +85	0 à +50
–40 à +90	–20 à +80	+5 à +55
–40 à +85	–20 à +70	+10 à +40
–40 à +80	–20 à +60	+15 à +50
–40 à +70	–10 à +70	

2.3.2 Gammes de températures élevées en degrés Celsius (°C) convenant pour un fonctionnement en enceinte

60 ± 5	75 ± 5
65 ± 5	80 ± 5
70 ± 5	85 ± 5

2.3.3 Tolérance de fréquence (1×10^{-6})

±200	±25	±7,5
±100	±20	±5
±50	±15	±4
±40	±10	±2,5
±30		±1

2.3.4 Conditions de fonctionnement

Capacité de charge 10 pF

Capacité de charge 15 pF

Capacité de charge 20 pF

Capacité de charge 30 pF

Capacité de charge 50 pF

Résonance série.

2.3.5 Niveaux d'excitation

Cisaillement d'épaisseur/AT:

Courant, en μA

150

200

1 000

2 000

Puissance, en μW

1
10
100
500

Flexion et cisaillement plan:

Courant, en μA

100
200

Extension:

Courant, en μA

500
1 000

2.3.6 Influence du niveau d'excitation

Résistance de résonance Ω	Rapport de résistance, $\frac{R_{r1}}{R_{r2}}$
< 5	2,2
5 à 10	2,0
10 à 20	1,8
20 à 35	1,5
35 à 50	1,3
>50	1,2

2.3.7 Catégorie climatique

55/105/56

Pour les besoins lorsque la gamme de températures du résonateur s'étend au-delà de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$, une catégorie climatique cohérente avec la gamme de températures de fonctionnement doit être spécifiée.

2.3.8 Sévérité des secousses

$4\,000 \pm 10$ secousses à 390 m/s^2 d'accélération crête dans chaque direction le long des trois axes perpendiculaires (voir 4.8.6).

Durée d'impulsion 6 ms.

2.3.9 Sévérité des vibrations

10 Hz à 55 Hz
amplitude de déplacement 0,75 mm
(valeur crête)
55 Hz à 500 Hz
ou 55 Hz à 2 000 Hz
amplitude d'accélération $98,1\text{ m/s}^2$

30 min dans chacun des trois axes
perpendiculaires à 1 octave/min (voir 4.8.7)

(valeur crête)

10 Hz à 55 Hz
amplitude de déplacement 1,5 mm
(valeur crête)

55 Hz à 2 000 Hz
amplitude d'accélération 196,2 m/s²
(valeur crête)

30 min dans chacun des trois axes
perpendiculaires à 1 octave/min (voir 4.8.7)

Sévérités de vibration aléatoires: à l'étude

2.3.10 Sévérité des chocs

981 m/s² d'accélération crête pour une durée de 6 ms; trois chocs dans chaque direction le long des trois axes perpendiculaires (voir 4.8.8), l'impulsion semi-sinusoïdale, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

2.3.11 Taux de fuite

10⁻³ Pa·cm³/s (10⁻⁸ bar·cm³/s).

2.4 Marquage

2.4.1 Les informations données pour le marquage sont sélectionnées de la liste suivante; l'importance relative de chaque donnée est indiquée par sa position dans la liste:

- a) désignation du type comme défini dans la spécification particulière;
- b) fréquence nominale en kilohertz (kHz) ou mégahertz (MHz);
- c) année et semaine de fabrication (quatre chiffres);
- d) code d'identification d'usine;
- e) nom du fabricant ou marque commerciale;
- f) marque de conformité (à moins qu'un certificat de conformité ne soit utilisé).

2.4.2 Le résonateur à quartz doit être clairement marqué des données figurant en a), b) et c) ci-dessus, et du plus grand nombre possible d'autres données, si cela est considéré comme nécessaire. Il convient que toute duplication d'information dans le marquage du résonateur soit évitée.

Lorsque la surface disponible des enveloppes de résonateurs miniatures impose des limites quant à la zone de marquage, les instructions pour le marquage doivent être données dans la spécification particulière.

2.4.3 L'emballage primaire contenant le ou les résonateurs doit être clairement marqué avec toutes les informations répertoriées en 2.4.1.

2.4.4 Tout marquage complémentaire doit être appliqué en évitant toute possibilité de confusion.

3 Procédures d'assurance de la qualité

Il existe deux méthodes pour l'assurance de la qualité des résonateurs à quartz: l'homologation et l'agrément de savoir-faire.

3.1 Etape initiale de fabrication

Selon 3.1.1.2 de l'IEC QC 001002-3, l'étape initiale de fabrication est la finition de surface de la lame de quartz.

NOTE La finition de surface de la lame de quartz peut être l'une des opérations suivantes: rodage, polissage, gravure, nettoyage, dans le cas des lames polies.

3.2 Modèles associables

L'association des modèles en vue de l'homologation, de l'agrément de savoir-faire et du contrôle de conformité de la qualité doit être prescrite dans la spécification intermédiaire concernée.

3.3 Sous-traitance

Les procédures doivent être en conformité avec 3.1.2 de l'IEC QC 001002-3.

Cependant, la finition de surface de la lame de quartz et tous les processus de fabrication qui suivent doivent être effectués par le fabricant auquel l'agrément a été accordé.

3.4 Agrément du fabricant

Pour obtenir cet agrément, le fabricant doit satisfaire aux exigences de l'article 2 de l'IEC 001002-3.

3.5 Procédures d'agrément

3.5.1 Généralités

Pour l'assurance de qualité des résonateurs à quartz, on peut utiliser soit l'agrément de savoir-faire, soit l'homologation. Ces procédures doivent être conformes à celles stipulées dans l'IEC QC 001001 et l'IEC QC 001002-3.

3.5.2 Agrément de savoir-faire

L'agrément de savoir-faire est approprié lorsque des résonateurs à quartz associables basés sur des règles de conception communes sont fabriqués selon un groupe de procédés de fabrication communs.

Dans le cadre de l'agrément de savoir-faire, trois catégories de spécifications particulières peuvent être mises en oeuvre.

a) Pour les composants pour agrément de savoir-faire (CQC)

La spécification particulière doit être établie pour chacun des composants avec l'accord de l'Organisme National de Surveillance (l'ONS). Elle doit identifier le but du CQC et inclure tous les niveaux de contraintes et limites d'essai le concernant.

b) Pour les produits sur catalogue

Quand un composant couvert par l'agrément de savoir-faire est destiné à être proposé en tant que produit sur catalogue, une spécification particulière doit être écrite en conformité avec la spécification particulière cadre. De telles spécifications doivent être enregistrées par l'IECQ et le composant peut être introduit dans l'IEC QC 001005.

c) Pour les résonateurs à quartz fabriqués à la demande

Le contenu de la spécification particulière doit être établi par accord entre le fabricant et le client selon 4.3.3 de l'IEC QC 001002-3.

On trouvera des informations complémentaires sur les spécifications particulières dans la spécification intermédiaire IEC 61178-2.

Le produit et les composants pour agrément de savoir-faire (CQC) doivent subir les essais en combinaison et selon l'agrément accordé à une entreprise sur la base des règles de conception validées, des processus de fabrication et procédures de contrôle de la qualité, comme prescrits en 3.6 et dans la spécification intermédiaire IEC 61178-2.

3.5.3 Homologation

L'homologation est appropriée pour les composants fabriqués selon une conception normalisée et un processus de fabrication établi, conformément à une spécification particulière publiée.

Le programme d'essais défini dans la spécification particulière pour un niveau de sévérité et une assurance de qualité appropriée s'applique directement au résonateur à homologuer comme prescrit en 3.7 et dans la spécification intermédiaire IEC 61178-3.

3.6 Procédures pour l'agrément de savoir-faire

3.6.1 Généralités

Les procédures pour l'agrément de savoir-faire doivent être conformes à l'IEC QC 001002-3.

3.6.2 Aptitude à l'agrément de savoir-faire

Le fabricant doit satisfaire aux exigences de 4.2.1 de l'IEC QC 001002-3 et à celles liées à l'étape initiale de fabrication définie en 3.1 de cette spécification générique.

3.6.3 Demande d'agrément de savoir-faire

Pour obtenir l'agrément de savoir-faire le fabricant doit appliquer les règles de procédures définies dans l'article 4 de l'IEC QC 001002-3.

3.6.4 Obtention de l'agrément de savoir-faire

L'agrément de savoir-faire doit être accordé à un fabricant lorsque les procédures en conformité avec l'article 4 de l'IEC QC 001002-3 ont été effectuées avec succès.

3.6.5 Manuel de savoir-faire

Le contenu du manuel de savoir-faire doit être établi en conformité avec les exigences de la spécification intermédiaire. Le manuel de savoir-faire est un document confidentiel et doit être traité comme tel par l'ONS. Le fabricant peut, s'il le désire, en divulguer tout ou partie à une tierce personne.

3.7 Procédures pour l'homologation

3.7.1 Généralités

Les procédures pour l'homologation doivent être conformes à l'article 3 de l'IEC QC 001002-3.

3.7.2 Aptitude à l'agrément du fabricant

Le fabricant doit satisfaire aux exigences de 3.1.1 de l'IEC QC 001002-3 et à celles liées à l'étape initiale de fabrication définie en 3.1 de cette spécification générique.

3.7.3 Demande d'homologation

Pour obtenir l'homologation le fabricant doit appliquer les règles de procédures définies en 3.1.3 de l'IEC QC 001002-3.

3.7.4 Obtention de l'homologation

L'homologation doit être accordée lorsque les procédures en conformité avec 3.1.5 de l'IEC QC 001002-3 ont été effectuées avec succès.

3.7.5 Contrôle de conformité de la qualité

Les files d'essai pour le contrôle de conformité de la qualité doivent être prescrites dans la spécification particulière cadre associée à la spécification intermédiaire.

3.8 Méthodes d'essai

Les méthodes d'essai à utiliser doivent être choisies dans la spécification générique. Au cas où un essai prescrit ne s'y trouverait pas, il est nécessaire de le définir dans la spécification particulière.

3.9 Exigences de sélection

Quand la sélection par le client est requise, cela doit être spécifié dans la spécification particulière.

3.10 Travaux de retouche et de réparation

3.10.1 Retouche

La retouche est la correction d'un défaut dû à une erreur dans le processus de fabrication; elle ne doit pas être effectuée si la spécification intermédiaire l'interdit. La spécification intermédiaire doit indiquer s'il y a une restriction quant au nombre de fois où une retouche peut être effectuée sur un composant spécifique.

Toute retouche doit être effectuée avant la formation du lot de contrôle présenté pour l'exécution des contrôles prescrits dans la spécification particulière.

Les procédures de retouche doivent être entièrement décrites dans les documents concernés du fabricant et doivent être effectuées sous la responsabilité directe du contrôleur. La sous-traitance des retouches n'est pas autorisée.

3.10.2 Réparation

La réparation est la correction d'un défaut décelé sur un composant après livraison au client.

Les composants qui ont été réparés ne peuvent plus être considérés comme étant représentatifs de la production du fabricant et sont exclus de système IECQ.

3.11 Rapports certifiés de lots acceptés

Les exigences de l'article 1.5 de l'IEC QC 001002-2 s'appliquent. Lorsque les rapports certifiés de lots acceptés (RCLA) sont exigés dans la spécification intermédiaire pour l'homologation et sont demandés par le client, les résultats des essais spécifiés doivent être condensés.

3.12 Validité de livraison

Les résonateurs à quartz conservés au-delà de deux ans après avoir été acceptés doivent subir à nouveau les essais électriques détaillés en 4.7.1 et 4.7.3 et inclure un échantillon essayé comme indiqué au point a) de 4.8.3 avant de pouvoir être livrés.

3.13 Acceptation pour livraison

Les résonateurs à quartz doivent être acceptés pour livraison en conformité avec 3.2.6 et 4.3.2 de l'IEC QC 001002-3.

3.14 Paramètres non destinés au contrôle

Seuls les paramètres d'un composant, spécifiés dans la spécification particulière et qui ont été vérifiés, peuvent être considérés comme étant dans les limites spécifiées. On ne peut assurer qu'un paramètre non spécifié restera inchangé d'un composant à un autre. S'il apparaît nécessaire, pour une raison quelconque, qu'un paramètre supplémentaire soit vérifié, il convient qu'une nouvelle spécification, élargie, soit utilisée. Les méthodes d'essai complémentaires doivent être entièrement décrites et les limites appropriées, le NQA et le niveau de contrôle spécifiés.

4 Procédures d'essai et de mesure

4.1 Généralités

Les procédures d'essai et de mesure doivent être effectuées en conformité avec la spécification particulière applicable.

4.2 Autres méthodes d'essai

Les mesures doivent être de préférence réalisées suivant les méthodes spécifiées. Toute autre méthode, donnant des résultats équivalents, peut être utilisée, sauf en cas de désaccord.

NOTE «Equivalent» signifie que la valeur de la caractéristique obtenue par une telle méthode correspond, aux tolérances spécifiées près, à celle obtenue par la méthode spécifiée.

4.3 Précision de mesure

Les limites données dans la spécification particulière sont les valeurs vraies. Les incertitudes de mesure doivent être prises en compte pour l'examen des résultats. Des précautions sont prises pour réduire au minimum les erreurs de mesure.

4.4 Conditions normales d'essai

Sauf indication contraire, tous les essais doivent être effectués sous conditions atmosphériques normales, comme spécifié en 5.3 de l'IEC 60068-1.

Température	15 °C à 35 °C
Humidité relative	45 % à 75 %
Pression atmosphérique	86 kPa à 106 kPa (860 mbar à 1 060 mbar)

En cas de litige, les conditions de référence sont:

Température	25 °C ± 1 °C
Humidité relative	48 % à 52 %
Pression atmosphérique	86 kPa à 106 kPa (860 mbar à 1 060 mbar)

Avant d'effectuer les mesures, les résonateurs à quartz doivent être stockés à la température de mesure pendant le temps suffisant pour que le résonateur à quartz ait atteint cette température.

Les conditions de reprise et les conditions normales pour le séchage sont données en 5.4 de l'IEC 60068-1.

La température ambiante relevée pendant les mesures doit être enregistrée et consignée dans le rapport d'essai.

4.5 Inspection visuelle

Sauf spécification contraire, l'inspection visuelle externe doit être faite dans les conditions normales d'éclairage et de vision du laboratoire.

4.5.1 Inspection visuelle, essai A

Le résonateur doit être examiné à l'oeil nu, pour vérifier que sa fabrication et sa finition sont satisfaisantes. Le marquage doit être lisible.

4.5.2 Inspection visuelle, essai B

Le résonateur doit être examiné sous un appareil d'optique de grossissement 10. On ne doit pas constater de fêlure dans le verre, ni de dégradation sur les sorties. Une écaille sur le bord d'un ménisque n'est pas considérée comme une fêlure.

4.5.3 Inspection visuelle, essai C

Le résonateur doit être examiné à l'oeil nu; on ne doit pas observer de trace de corrosion, ou d'autre défaut préjudiciable à un emploi satisfaisant. Le marquage doit être lisible.

4.6 Inspection dimensionnelle et de mesure

4.6.1 Dimensions, essai A

Les dimensions, l'espacement, et l'alignement des sorties doivent être contrôlés, en utilisant, si possible, les calibres spécifiés. Les dimensions, l'espacement et l'alignement doivent être conformes aux valeurs spécifiées.

4.6.2 Dimensions, essai B

Les dimensions doivent être mesurées et conformes aux valeurs spécifiées. Les dimensions sont spécifiées dans l'IEC 60122-3 ainsi que la procédure de mesurage applicable ou suivant indication dans la spécification particulière.

4.7 Procédures d'essais électriques

4.7.1 Fréquence et résistance de résonance

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, les mesures doivent être faites à $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ pour les résonateurs à température non contrôlée ou au point milieu de la gamme de températures, à $\pm 1\text{ °C}$ près, pour les résonateurs à température contrôlée.

La fréquence et la résistance de résonance du résonateur doivent être mesurées suivant les conditions indiquées dans la spécification particulière, et doivent se situer dans les limites spécifiées.

NOTE Les méthodes de mesure préférentielles sont décrites dans l'IEC 60444-1, l'IEC 60444-2, l'IEC 60444-4 et l'IEC 60444-5 selon la fréquence du résonateur à quartz à mesurer. Toute autre méthode de mesure peut être utilisée, à condition de prouver que les résultats obtenus se corrélient avec ceux obtenus par l'une des méthodes préférentielles.

4.7.2 Influence du niveau d'excitation

Il est important, lorsqu'un essai d'influence du niveau d'excitation est spécifié, que celui-ci soit effectué au moins cinq jours après le dernier essai électrique sur le résonateur à quartz (voir l'IEC 60444-6).

Les mesures spécifiées en 4.7.1 doivent être effectuées à deux niveaux d'excitation donnés. Celles-ci sont normalement à un niveau bas d'excitation, suivi d'un niveau haut. Sauf indication contraire, le niveau bas ne doit pas être supérieur à $50\text{ }\mu\text{A}$ et le niveau haut ne doit pas être inférieur à $1\text{ 000 }\mu\text{A}$. Le changement de la résistance de résonance ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans la spécification particulière.

4.7.3 Fréquence et résistance de résonance en fonction de la température

NOTE Les essais A et B peuvent être associés, à condition que l'essai A s'effectue en température variable, continue et commence à la plus basse des deux températures: température minimale de la gamme de températures de fonctionnement, ou $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (en choisissant la température la plus basse d'entre elles).

Le niveau d'excitation et la capacité de charge doivent être relevés comme indiqué dans la spécification particulière, à la température de référence. On ne doit pas effectuer de réglage sur le banc de mesure pendant les essais.

Essai A

A partir d'une température extrême de la gamme de températures de fonctionnement, la fréquence et les résistances de résonance du résonateur à quartz (voir 4.7.1) doivent être mesurées dans toute la gamme de températures de fonctionnement, au moins tous les $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, en s'assurant que le résonateur à quartz est à l'équilibre thermique à chaque mesure.

Le résonateur peut être mesuré en température variable, à condition que la vitesse de changement de la température soit telle que les mesures obtenues suivant cette méthode et celles des paliers stabilisés soient corrélées.

Le résonateur doit être dans les limites spécifiées pendant cet essai.

Essai B

La température de l'enveloppe du résonateur à quartz doit être élevée de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant au plus 1 min. Pendant cet essai, la fréquence et la résistance de résonance (voir 4.7.1) doivent être mesurées de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou moins à $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour assurer les lectures continues. Il ne doit pas se produire de variations discontinues de la fréquence et/ou de la résistance. Une discontinuité de la fréquence et/ou de la résistance met en évidence la présence d'humidité dans l'enveloppe.

NOTE La présence d'humidité ne peut être vérifiée que par un changement positif de la température.

4.7.4 Réponses indésirables

La fréquence doit être balayée suivant la gamme définie dans la spécification particulière, et on vérifie la résistance du résonateur au niveau d'excitation défini par la spécification particulière pour la réponse principale.

Le rapport entre la résistance de résonance de toute réponse indésirable et la résistance à la fréquence de résonance désirée ne doit pas être inférieur à la valeur spécifiée dans la spécification particulière. Ou bien, la résistance de résonance des réponses indésirables doit être supérieure à celle spécifiée dans la spécification particulière.

4.7.5 Capacité parallèle

La capacité parallèle C_0 (voir figure 1) doit être mesurée à une fréquence inférieure à la fréquence de résonance du composant, à laquelle il n'y a pas de réponse d'oscillation. L'enveloppe, si elle est métallique, doit être reliée à la masse, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

NOTE 1 Il n'y a pas de méthode directe pour mesurer avec précision C_0 . Cependant, pratiquement présente dans tous les cas, il convient de considérer C_0 comme étant la moyenne des deux valeurs de capacité parallèle obtenues à deux fréquences équidistantes, en dessus et en dessous de la fréquence de résonance f_r et suffisamment éloignées de f_r pour que l'impédance soit indépendante de toute réponse.

NOTE 2 C_0 est la capacité parallèle entre les deux électrodes du résonateur à quartz, mais il convient de remarquer que la capacité entre chacune des électrodes et la masse sont des éléments importants pour de nombreuses applications dans les réseaux de la commande de la fréquence.

NOTE 3 C'est pourquoi, dans le cas général, il est nécessaire de considérer le résonateur comme un tripôle, et d'évaluer C_0 et les capacités parasites des deux électrodes par rapport à la masse du circuit ouvert et court-circuit, conformément aux techniques de mesure généralement employées pour les dipôles.

L'enveloppe du résonateur doit être reliée à la masse, sauf indication contraire dans la spécification particulière, pendant toutes les mesures nécessaires pour évaluer les paramètres du résonateur à quartz. Dans ce but, les résonateurs avec enveloppe en verre doivent être équipés d'un blindage métallique.

4.7.6 Fréquence et résistance avec charge

Les méthodes d'essai pour les mesures de fréquence et de résistance à la charge sont décrites dans l'IEC 60444-4.

4.7.7 Plage de décalage de fréquence (f_{L1} , f_{L2})

L'écart entre les fréquences de résonance obtenues avec deux valeurs de capacité de charge données doit être déterminé par la méthode décrite dans l'IEC 60444-4, ou toute autre méthode donnant une corrélation correcte sur les valeurs de fréquence, compatible avec la précision requise.

4.7.8 Paramètres dynamiques

Les méthodes d'essais pour les paramètres dynamiques sont décrites dans l'IEC 60444-1, l'IEC 60444-2, et l'IEC 60444-5.

4.7.9 Résistance d'isolement

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la résistance d'isolement doit être mesurée avec une tension continue de $100\text{ V} \pm 15\text{ V}$ appliquée pendant 60 s ou moins si la mesure est stable entre:

- les sorties isolées de l'enveloppe;
- les sorties isolées reliées entre elles, et les parties métalliques éventuelles de l'enveloppe.

La résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 500 M Ω .

NOTE Lors de l'exécution de cet essai, il convient de faire très attention de s'assurer qu'aucune humidité ne subsiste au sein de l'enveloppe d'un essai précédent.

4.8 Méthodes d'essai mécaniques et en environnement

4.8.1 Robustesse des sorties (destructif)

a) Essai de traction et poussée des sorties

L'essai doit être effectué suivant les essais U_{a1} (traction) et U_{a2} (poussée) de l'IEC 60068-2-21.

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la force doit être de:

- pour une broche (enfichable): 20 N en poussant;
- pour une broche (enfichable): 20 N en tirant;
- pour un fil (à braser): 10 N en tirant.

b) Pliage sur les sorties par fil

L'essai doit être effectué suivant l'essai U_b (pliage) de l'IEC 60068-2-21.

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, on doit effectuer trois fois le pliage à $2,5\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ de l'enveloppe du résonateur, avec une force de 5 N.

c) Essai de pliage (pour les broches à gorge seulement)

Maintenir l'enveloppe ou l'embase du résonateur par tout moyen approprié. Utiliser l'outil de pliage décrit à la figure 6 et engager la partie inférieure à la gorge des sorties.

NOTE Pour s'assurer que le pliage s'effectue principalement sur la partie comportant la gorge, une cale avec deux trous pour les sorties peut être utilisée. Cette cale peut être d'une épaisseur telle qu'une partie de la gorge des sorties y soit incluse.

Plier les sorties au moyen de l'outil à $15^\circ \pm 2^\circ$ dans une direction, suivi par un pliage à $30^\circ \pm 2^\circ$ dans la direction opposée et terminer par un pliage à $15^\circ \pm 2^\circ$ pour revenir à la position initiale. La vitesse de pliage est d'environ 5° par seconde dans chaque direction.

Au terme de cet essai, on ne doit pas constater de cassures des sorties.

4.8.2 Essais d'étanchéité (non destructifs)

a) Essai de grosses fuites

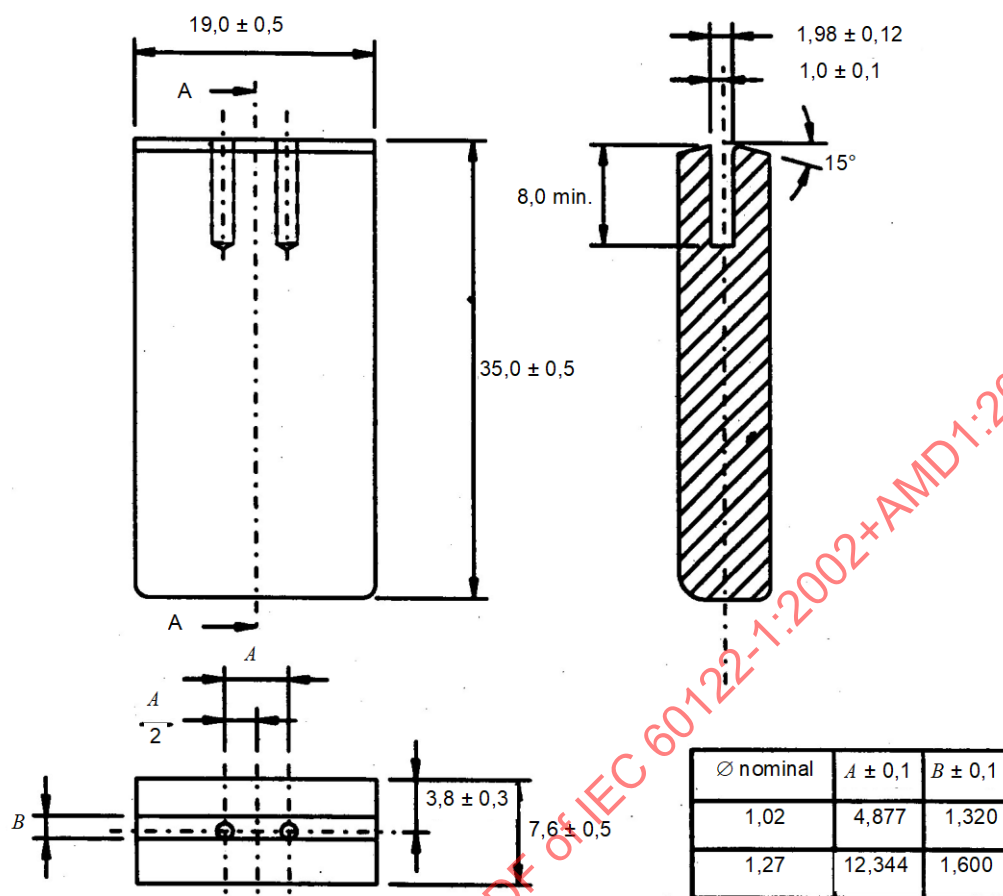
Cet essai doit être effectué suivant la procédure décrite dans l'IEC 60068-2-17, essai Qc, méthode 1 ou 2.

Méthode 1

Le liquide doit être de l'eau dégazée et la pression de l'air à la surface de l'eau doit être de 8,5 kPa (85 mbar) ou moins, et il ne doit pas être nécessaire de drainer ou de retirer les échantillons de l'eau avant de casser le vide.

Méthode 2

Le liquide doit être maintenu à $125^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Le temps d'immersion doit être de 30 s, sauf indication contraire dans la spécification particulière applicable.



IEC 1936/02

Dimensions en millimètres

Figure 6 Outil de pliage des sorties

Après 1 min, les résonateurs doivent être sortis de la chambre et soumis aux conditions de reprise, spécifiées en 5.4.1 de l'IEC 60068-1.

Pendant l'essai, on ne doit pas constater de dégagement de gaz ou d'air de l'enveloppe du résonateur. Une formation continue de bulles indique la présence d'une fuite.

b) Essai de fuites fines

Cet essai doit être effectué selon 6.4 de l'IEC 60068-2-17, essai Qk, méthode 1. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la pression doit être de 200 kPa (2 bar).

Le taux maximal de fuites ne doit pas dépasser la valeur donnée en 2.3.11, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

c) Essai de vide pour résonateurs sous vide (en enveloppe de verre seulement)

Le vide doit être vérifié par l'application d'une tension crête n'excédant pas 15 kV fournie par une bobine de Tesla.

Pour ne pas endommager le résonateur, le point d'application de l'électrode d'essai doit être placé aussi loin que possible de la lame de quartz et des sorties. Pour faciliter l'observation de la décharge, on doit opérer en semi-obscurité. On ne doit pas observer d'arc dans l'enveloppe. Lorsqu'une décharge uniforme apparaît, elle est de couleur bleu pâle.

NOTE Il convient que cet essai soit effectué dans le temps le plus court possible, parce qu'il peut causer des variations de la fréquence nominale du résonateur à quartz essayé.

4.8.3 Brasage (brasabilité et résistance à la chaleur de brasage) (destructif)

a) Brasabilité

Cet essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-20, essai Ta, méthode 1. Un écran de matériau isolant thermique doit être utilisé pour éviter que le résonateur soit chauffé par le rayonnement direct du bain de soudure. Il doit permettre de plus de limiter l'immersion des sorties à 2 mm de l'enveloppe, sauf indication contraire dans la spécification particulière. L'étamage correct des sorties doit être vérifié: mouillage et bonne répartition de la soudure.

b) Résistance à la chaleur de brasage

Cet essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-20, essai Tb, méthode 1A. Le temps d'immersion doit être de $5\text{ s} \pm 1\text{ s}$, sauf indication contraire dans la spécification particulière. Un écran de matériau isolant thermique doit être utilisé pour protéger le composant du rayonnement direct du bain de soudure. Il doit permettre de plus de limiter l'immersion des sorties à 2 mm de l'enveloppe, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

4.8.4 Variation rapide de température par immersion en utilisant la méthode de deux bains (non destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-14, essai Nc. Les composants doivent être soumis à un cycle descendant de $98\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ pendant 15 s à $1\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ pendant 5 s.

4.8.5 Variation rapide de température avec un temps de transition prescrit (non destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-14, essai Na.

Pour les résonateurs non contrôlés en température, les températures basses et celles élevées des chambres doivent être les températures extrêmes de la gamme de températures de fonctionnement indiquées dans la spécification particulière. Pour les résonateurs contrôlés en température, les températures des chambres doivent être respectivement de $-40\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ et de $+100\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.

Les résonateurs doivent être maintenus à chacune des températures extrêmes pendant 15 min, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

Les résonateurs doivent subir dix cycles complets. Le temps de reprise dans les conditions normales doit être d'au moins 2 h.

4.8.6 Secousses (destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-29, essai Eb. Les résonateurs doivent être convenablement montés avec des brides de fixation sur le corps. Les trois axes perpendiculaires suivant lesquels les secousses doivent être appliquées doivent inclure:

- un axe parallèle aux sorties;
- un axe perpendiculaire à la structure de montage de l'élément piézoélectrique.

Le degré de sévérité doit être celui précisé en 2.3.8, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

4.8.7 Vibrations (destructif)

a) Vibrations (mode sinusoïdal)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-6, essai Fc. Les résonateurs doivent être convenablement montés avec des brides de fixation sur le corps. Les trois axes perpendiculaires suivant lesquels les accélérations doivent être appliquées doivent inclure:

- un axe parallèle aux sorties;
- un axe perpendiculaire à la structure de montage de l'élément piézoélectrique.

Le degré de sévérité doit être celui précisé dans la spécification particulière.

b) Vibrations (mode aléatoire)

A l'étude.

4.8.8 Chocs (destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-27, essai Ea. Les résonateurs doivent être convenablement montés avec des brides de fixation sur le corps. Les trois axes perpendiculaires suivant lesquels les chocs doivent être appliqués doivent inclure:

- un axe parallèle aux sorties;
- un axe perpendiculaire à la structure de montage de l'élément piézoélectrique.

Le degré de sévérité doit être celui précisé en 2.3.10, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

4.8.9 Chutes libres (destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec la procédure 1 de l'essai Ed de l'IEC 60068-2-32. Le résonateur doit être suspendu par ses connexions à une hauteur de 1 000 mm et le nombre de chutes doit être de deux, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

4.8.10 Accélération, constante (non destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-7, essai Ga. Les résonateurs doivent être convenablement montés avec des brides de fixation sur le corps. La procédure et la sévérité doivent être celles de la spécification particulière.

Cet essai peut être considéré comme destructif selon certaines sévérités.

4.8.11 Chaleur sèche (non destructif)

L'essai doit être effectué en conformité avec l'IEC 60068-2-2, essai Ba. Le conditionnement doit être effectué à la température supérieure spécifiée par la catégorie climatique pendant une durée de 16 h.

4.8.12 Chaleur humide, essai cyclique (destructif)

Cet essai doit être effectué en conformité avec l'essai Db, variante 1, de l'IEC 60068-2-30, sévérité b), six cycles à 55 °C.

4.8.13 Froid sec (non destructif)

Cet essai doit être effectué en conformité avec l'essai Aa de l'IEC 60068-2-1 à la plus basse température spécifiée par la catégorie climatique, pendant une durée de 2 h.

4.8.14 Séquence climatique (destructif)

Les essais et les mesures doivent être effectués dans l'ordre suivant:

- chaleur sèche voir 4.8.11
- chaleur humide cyclique voir 4.8.12 (premier cycle uniquement)
- froid sec voir 4.8.13
- chaleur humide cyclique voir 4.8.12 (les cinq autres cycles).

Pendant la séquence climatique, un intervalle de trois jours au plus est toléré entre chacun de ces essais, excepté entre la chaleur humide cyclique (premier cycle) et le froid sec.

Dans ce cas, l'essai de froid doit suivre immédiatement après la période de reprise spécifiée dans l'essai de chaleur humide.

4.8.15 Chaleur humide, essai continu (destructif)

Cet essai doit être effectué en conformité avec l'essai Ca de l'IEC 60068-2-3, pendant 56 jours, sauf indication contraire dans la spécification particulière.

4.8.16 Tenue aux solvants de nettoyage (non destructif)

Cet essai est applicable uniquement pour des marquages superficiels.

Pour établir la tenue du marquage cet essai doit être effectué conformément à la méthode 1 de l'essai XA de l'IEC 60068-2-45. La spécification particulière doit préciser le solvant à utiliser.

Le marquage doit rester lisible.

4.9 Méthodes d'essai d'endurance

4.9.1 ~~Vieillessement (non destructif)~~ Essai de vieillissement normalisé pour la vérification de la production

~~Les résonateurs doivent être maintenus sans oscillation à $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 30 jours sans interruption. La fréquence et la résistance de résonance doivent être mesurées à des intervalles n'excédant pas une semaine. Les mesures initiales de fréquence et de résistance de résonance doivent être prises à la fin des premières 24 h et les mesures finales à la fin des 30 jours d'essai.~~

~~La différence entre la température de mesure initiale et les températures de mesure suivantes ne doit pas excéder $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Le niveau d'excitation doit être celui spécifié dans la spécification particulière. Les mesures doivent être effectuées conformément à 4.7.1, excepté qu'elles doivent être faites à $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.~~

~~La différence entre les plus hautes et les plus basses mesures de fréquence ne doit pas dépasser la valeur spécifiée.~~

~~La résistance de résonance ne doit pas être plus grande que la valeur spécifiée dans la spécification particulière.~~

~~La résolution de fréquence du système de mesure doit être $\pm 5 \times 10^{-7}$ ou $\pm 10\%$ du vieillissement toléré, en utilisant la plus petite des deux valeurs.~~

4.9.1.1 Objet

Cet essai est utilisable pour la vérification statistique de la caractéristique de vieillissement au cours du processus de production.

4.9.1.2 Procédure

- Prélever un échantillon du lot de production.
- Effectuer la mesure initiale de f_s et R_1 à $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Stocker dans une étuve à $T_{\text{oven}} = (+85 \pm 3) ^\circ\text{C}$.
- Prendre et relever des mesures supplémentaires après 1 jour et au moins trois autres fois à des intervalles de temps recommandés à l'Annexe A.
- Pour la mesure, retirer les résonateurs à quartz de l'étuve et les stocker à température ambiante pendant 1 h, en évitant des chocs thermiques. Mesurer f_s et R_1 à $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ conformément à l'IEC 60444-5 ou norme équivalente.
- Effectuer la mesure finale de f_s et R_1 à $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ après 30 jours.

4.9.1.3 Evaluation

La différence entre les plus hautes et les plus basses mesures de fréquence ne doit pas dépasser la valeur spécifiée. La résistance R_1 ne doit jamais dépasser les valeurs maximales spécifiées.

4.9.2 Vieillissement accéléré

4.9.2.1 Objet

Pour les applications particulières, une procédure de vieillissement accéléré à des températures plus élevées est appliquée afin de réduire le temps de vérification et/ou pour obtenir des données de performance à des températures de fonctionnement plus élevées.

4.9.2.2 Procédure

La procédure est la même qu'en 4.9.1, sauf que la température de l'étuve préférentielle est $T_{\text{oven}} = +105 ^\circ\text{C}$, $+125 ^\circ\text{C}$ ou $+150 ^\circ\text{C}$. Cette température doit être inférieure ou égale à la température de stockage maximale spécifiée.

Le rapport entre la durée de stockage à $25 ^\circ\text{C}$ et la durée de stockage à une température élevée T_{oven} pour obtenir la même quantité de vieillissement en fréquence est appelé « facteur d'accélération temporelle » (TAF, *time acceleration factor*). Ce facteur dépend de la conception du résonateur à quartz et du processus de production. Il peut être déterminé expérimentalement tel que décrit à l'Annexe A, ou défini à partir de l'expérience avec des résonateurs à quartz associables, ou peut faire l'objet d'un accord mutuel entre le fabricant et l'utilisateur.

Si le facteur d'accélération temporelle TAF n'est pas spécifié par ailleurs, l'approche suivante est recommandée.

En appliquant la loi d'Arrhenius, le facteur d'accélération temporelle TAF est lié à l'énergie d'activation E_a (en eV) par l'équation suivante:

$$\text{TAF} = e^{\frac{E_a \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ref}}} - \frac{1}{T_{\text{oven}}} \right)}{k}}$$

où

k est la constante de Boltzmann ($k \approx 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$), et les températures sont données en K.

Les résultats expérimentaux publiés (voir [6] et [7]) montrent que l'énergie d'activation E_a diminue avec le temps, c'est-à-dire que le facteur d'accélération diminue avec la durée de vieillissement. En outre, E_a varie entre les différents résonateurs et oscillateurs à quartz, en

fonction de la fréquence, de la taille de l'emballage, de la conception du résonateur et des processus de production. Les valeurs observées de E_a étaient comprises entre $> 0,1$ eV et < 1 eV.

Une hypothèse commune est $TAF = 12$ pour $T_{oven} = +85$ °C, c'est-à-dire qu'un vieillissement de 30 jours (1 mois) à 85 °C est considéré comme équivalent à un vieillissement de 365 jours (12 mois) à 25 °C, ce qui correspond à une énergie d'activation E_a de 0,38 eV.

Avec cette valeur de E_a , le facteur d'accélération temporelle pour d'autres températures de vieillissement peut être calculé. Le Tableau 5 ci-dessous présente le facteur d'accélération temporelle TAF et le nombre de jours N_d équivalant à 365 jours à 25 °C.

Tableau 5 – Facteurs d'accélération temporelle pour $E_a = 0,38$ eV

T_{oven} °C	TAF	N_d jours
+25	1	365
+85	12	30
+105	23	16
+125	41	9
+150	79	5

D'autres facteurs d'accélération temporelle peuvent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur, en se fondant sur leurs propres calculs de fiabilité.

4.9.2.3 Evaluation

L'évaluation est telle que décrite en 4.9.1.

4.9.3 Essai de vieillissement de référence

4.9.3.1 Objet

Cette procédure est utilisée pour un niveau de confiance plus élevé. Il convient d'utiliser cette méthode pour les résonateurs à quartz de haute précision et comme méthode de référence en cas de litige.

4.9.3.2 Procédure

Voir l'Annexe A.

4.9.3.3 Evaluation

Les données d'essai de la fréquence de résonance série f_s sont soumises à la procédure d'ajustement des données.

Les données de mesure de fréquence $f_i(t)$ doivent être ajustées à l'aide de la méthode des moindres carrés de la fonction suivante (ajustement logarithmique):

$$\left[\frac{\Delta f(t)}{f_{init}} \right] = a_0 + a_1 \times \ln(a_2 \times t + 1)$$

où

$\Delta f(t)$ est la différence entre la fréquence du résonateur à quartz t jours après le début du cycle de vieillissement et la fréquence initiale f_{init} mesurée après le temps de stabilisation t_{stab} (l'origine temporelle pour l'analyse des mesures doit être le début de la période de stabilisation).

Les coefficients a_0 , a_1 et a_2 sont des constantes à déterminer à partir de l'ajustement par la méthode des moindres carrés.

L'algorithme d'ajustement par défaut est l'ajustement logarithmique. Dans certains cas, à savoir lorsque la réponse au vieillissement présente une très faible courbure, l'ajustement logarithmique peut ne pas donner des résultats raisonnables. Dans ce cas, il est recommandé de calculer en plus l'ajustement polynomial suivant:

$$\left[\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}} \right] = a_0 + a_1 \times t + a_2 \times t^{\frac{1}{2}} + a_3 \times t^{\frac{1}{3}}$$

Il convient de n'utiliser cette approche que si la racine carrée de la variance d'ajustement par la méthode des moindres carrés (SLQ) des mesures à partir de l'ajustement polynomial est au moins cinq fois inférieure à celle de l'ajustement logarithmique.

La variation totale de fréquence et la vitesse de vieillissement à la fin de la période de vieillissement spécifiée ($t = T_a$) doivent être déterminées à partir de l'équation d'ajustement en utilisant les constantes déterminées à partir de l'ajustement par la méthode des moindres carrés. La racine carrée de la variance d'ajustement par la méthode des moindres carrés des mesures à partir de la fonction d'ajustement de la courbe ne doit pas dépasser 5 % de la variation totale du vieillissement autorisée au cours de la période d'essai.

Pour l'ajustement logarithmique (par défaut), la vitesse de vieillissement (en ppm ou ppb¹ par jour) à $t = T_a$ est:

$$\left[\frac{d\left(\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}}\right)}{dt} \right]_{t=T_a} = \frac{a_1 \times a_2}{a_2 \times T_a + 1} \approx \frac{f(T_a + 1) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

Si l'ajustement polynomial a été utilisé, la vitesse de vieillissement à $t = T_a$ ($T_a > 0$) est:

$$\left[\frac{d\left(\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}}\right)}{dt} \right]_{t=T_a} = a_1 + \frac{a_2}{2} \times T_a^{-\frac{1}{2}} + \frac{a_3}{3} \times T_a^{-\frac{2}{3}}$$

La variation totale de fréquence prévue pour une durée doit être calculée à l'aide des formules suivantes:

$$\text{Vieillissement par mois} \approx \frac{f(T_a + 30) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

¹ ppm = parties par million; ppb = parties par milliard.

Vieillissement par (1^{ère}) année $\approx \frac{f(T_a + 365) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$

Vieillissement pendant N années $\approx \frac{f(T_a + 365) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$

La résistance R_1 ne doit jamais dépasser les valeurs maximales spécifiées.

4.9.24.9.4 Vieillissement prolongé ~~(non destructif)~~

4.9.4.1 Objet

L'objet est d'évaluer la fiabilité et la performance à long terme.

4.9.4.2 Procédure

Cet essai doit être effectué conformément à 4.9.1, à l'exception des temps de vieillissement continus qui doivent être portés à 1 000 h, 2 000 h ou 8 000 h, comme ~~spécifié~~ prescrit dans la spécification particulière, et ~~n'a qu'une valeur d'information~~ doit être utilisé à titre informatif uniquement.

~~Les mesures doivent être effectuées conformément à 4.7.1, si ce n'est qu'elles doivent être faites à $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ou à toute autre température de référence spécifiée.~~

~~NOTE Ces essais sont effectués pour information seulement. Il ne convient pas que les résonateurs utilisés pour ces essais soient livrés au client.~~

Les mesures doivent être réalisées à $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou toute autre température de référence spécifiée, conformément à l'IEC 60444-5 ou norme équivalente.

Les intervalles de mesure peuvent être étendus à deux semaines ou plus. Pour les mesures intermédiaire et finale, les résonateurs à quartz peuvent être retirés de l'étuve, et stockés à température ambiante pendant 1 h. Il convient d'éviter les chocs thermiques.

4.9.4.3 Evaluation

La différence entre les plus hautes et les plus basses mesures de fréquence ne doit pas dépasser la valeur spécifiée (le cas échéant). La résistance R_1 ne doit jamais dépasser les valeurs maximales spécifiées.

Cet essai doit être utilisé à titre informatif uniquement. Il convient que les résonateurs à quartz utilisés pour ces essais ne soient fournis à aucun client.

Annexe A (normative)

Procédure pour la détermination des paramètres d'ajustement pour le vieillissement en fréquence

A.1 Hypothèse

Une description générale du vieillissement en fréquence est possible sous la forme suivante:

$$\Delta f/f(t, T) = g(t) \times h(T)$$

où

$$g(t) = b_0 + b_1 \times \log(b_2 \times t + 1) \text{ (ajustement logarithmique);}$$

ou

$$g(t) = c_0 + c_1 \times (t - t_0) + c_2 \times (t - t_0)^{1/2} + c_3 \times (t - t_0)^{1/3} \text{ (ajustement polynomial);}$$

et

$$h(T) = a_1 \times \exp(E_a \times (1/T_{\text{ref}} - 1/T)/k)$$

où

k est la constante de Boltzmann ($k \approx 8,617 \times 10^{-5}$ eV/K), et les températures sont données en K;

T_{ref} est 298 K.

A.2 Détermination des paramètres d'ajustement b_0, b_1, b_2 (et/ou c_0, c_1, c_2, c_3) et a_1 , et E_a

La procédure du Tableau A.1 doit s'appliquer.

Tableau A.1 – Procédure pour la détermination des paramètres de vieillissement en fréquence

Procédure	Conditions
Procédure d'essai de vieillissement	Passive
Essai de soudure par refusion	2x le profil ROHS (IEC 61760-1:2006) ^a
Prévieillissement initial (durée et température)	48 h à >20 K au-dessus de la température de fonctionnement supérieure, mais $T <$ température de stockage supérieure
Nombre d'échantillons par lot (à partir d'un lot de production)	$\geq 30^*$ en fonction du niveau de confiance nécessaire
Nombre de températures de vieillissement	3
Températures de vieillissement recommandées	85 °C, 105 °C, 125 °C, 150 °C ^a en fonction de l'application, $T <$ température de stockage supérieure spécifiée
Température recommandée pour la mesure	(25 ± 2) °C, mesure > 1 h après retrait de l'enceinte thermique pour éviter les chocs thermiques.
Temps de vieillissement recommandé	500 h, 1 000 h, 2 000 h ^a en fonction du niveau de confiance nécessaire
Intervalles d'essai (en pas « logarithmiques »)	Après une stabilisation de 48 h: 24 h, 72 h, 250 h, 500 h, 750 h, 1 000 h (1 500 h, 2 000 h)
Algorithmes pour déterminer $g(t)$ et $h(T)$	Ajustement par la méthode des moindres carrés ^b $g(t)$: ajustement logarithmique et ajustement polynomial Ajustement polynomial – uniquement si somme des moindres carrés SLQ < 5 fois SLQ de l'ajustement logarithmique $h(T)$: ajustement par la méthode des moindres carrés Résultat: E_a E_a peut varier en fonction du temps. Utiliser E_a pour $t \geq 500$ h
^a Sauf spécification contraire.	
^b Pour le vieillissement monotone, toutes les mesures doivent être utilisées pour l'ajustement de la courbe. Si la tendance du vieillissement n'est pas monotone, la période de mesure doit être prolongée jusqu'à 40 jours ou plus après avoir obtenu l'extremum dans la tendance du vieillissement, et les mesures prises 12 jours après obtention de l'extremum à la fin de la période de mesure du vieillissement doivent être ajustées aux fonctions ci-dessus pour $g(t)$.	

Bibliographie

- [1] IEC 60068-2-58:1999, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Td: Solderability, resistance to dissolution of metallization and soldering heat of Surface Mounting Devices (SMD)* (disponible en anglais seulement)
- [2] IEC 60068-2-64:1993, *Essais d'environnement –Partie 2-64: Méthodes d'essai – Essai Fh: Vibrations aléatoires à large bande (asservissement numérique) et guide*
- [3] IEC 60410:1973, *Plans et règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs*
- [4] IEC QC 001002-1:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 1: Administration* (disponible en anglais seulement)
- [5] IEC Guide 102:1996, *Electronic components. Specification structures for quality assessment (Qualification approval and capability approval)* (disponible en anglais seulement)
- [6] Wang S-Y, Neubig B., Sato K., Hosoda T., Seydel E, Wu J-H, Ma T-F, Wang Ji, *Aging Models and Parameters of Quartz Crystal Resonators and Oscillators; Proc. 2015 Symp on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications*, p. 382-385
- [7] Shen, C-N, Yang X-W, Chang C, Chao M-C, *The Study of Activation Energy (Ea) by Aging and High Temperature Storage for Quartz Resonator's Life Evaluation; Proc. 2010 Symp on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications*, p. 118-122

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60122-1:2002+AMD1:2017 CSV

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60122-1:2002+AMD1:2017 CSV

FINAL VERSION

VERSION FINALE

**Quartz crystal units of assessed quality –
Part 1: Generic specification**

**Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité –
Partie 1: Spécification générique**

CONTENTS

FOREWORD	5
1 General	7
1.1 Scope	7
1.2 Normative references	7
1.3 Order of precedence	8
2 Terminology and general requirements	9
2.1 General	9
2.2 Terms, definitions and classification of phenomena	9
2.3 Preferred ratings and characteristics	22
2.3.1 Temperature ranges in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$) suitable for ambient operation	22
2.3.2 Elevated temperature ranges in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$) suitable for oven control	23
2.3.3 Frequency tolerance (1×10^{-6})	23
2.3.4 Circuit conditions	23
2.3.5 Levels of drive	23
2.3.6 Drive level dependency	24
2.3.7 Climatic category	24
2.3.8 Bump severity	24
2.3.9 Vibration severity	24
2.3.10 Shock severity	24
2.3.11 Leak rate	25
2.4 Marking	25
3 Quality assessment procedures	25
3.1 Primary stage of manufacture	25
3.2 Structurally similar components	25
3.3 Subcontracting	25
3.4 Manufacturer's approval	26
3.5 Approval procedures	26
3.5.1 General	26
3.5.2 Capability approval	26
3.5.3 Qualification approval	26
3.6 Procedures for capability approval	26
3.6.1 General	26
3.6.2 Eligibility for capability approval	27
3.6.3 Application for capability approval	27
3.6.4 Granting of capability approval	27
3.6.5 Capability manual	27
3.7 Procedures for qualification approval	27
3.7.1 General	27
3.7.2 Eligibility for qualification approval	27
3.7.3 Application for qualification approval	27
3.7.4 Granting of qualification approval	27
3.7.5 Quality conformance inspection	27
3.8 Test procedures	27

3.9	Screening requirements	27
3.10	Rework and repair work.....	28
3.10.1	Rework.....	28
3.10.2	Repair work.....	28
3.11	Certified records of released lots.....	28
3.12	Validity of release.....	28
3.13	Release for delivery	28
3.14	Unchecked parameters.....	28
4	Test and measurement procedures.....	28
4.1	General.....	28
4.2	Alternative test methods	28
4.3	Precision of measurement.....	29
4.4	Standard conditions for testing	29
4.5	Visual inspection	29
4.5.1	Visual test A.....	29
4.5.2	Visual test B.....	29
4.5.3	Visual test C.....	29
4.6	Dimensioning and gauging procedures	30
4.6.1	Dimensions, test A	30
4.6.2	Dimensions, test B	30
4.7	Electrical test procedures	30
4.7.1	Frequency and resonance resistance	30
4.7.2	Drive level dependency	30
4.7.3	Frequency and resonance resistance as a function of temperature	30
4.7.4	Unwanted responses	31
4.7.5	Shunt capacitance	31
4.7.6	Load resonance frequency and resistance.....	31
4.7.7	Frequency pulling range (f_{L1} , f_{L2})	31
4.7.8	Motional parameters	31
4.7.9	Insulation resistance.....	32
4.8	Mechanical and environmental test procedures	32
4.8.1	Robustness of terminations (destructive)	32
4.8.2	Sealing tests (non-destructive)	32
4.8.3	Soldering (solderability and resistance to soldering heat) (destructive)	34
4.8.4	Rapid change of temperature, two-fluid bath method (non-destructive)	34
4.8.5	Rapid change of temperature with prescribed time of transition (non-destructive)	34
4.8.6	Bump (destructive)	34
4.8.7	Vibration (destructive)	35
4.8.8	Shock (destructive).....	35
4.8.9	Free fall (destructive)	35
4.8.10	Acceleration, steady state (non-destructive)	35
4.8.11	Dry heat (non-destructive)	35
4.8.12	Damp heat, cyclic (destructive).....	35
4.8.13	Cold (non-destructive)	36
4.8.14	Climatic sequence (destructive).....	36
4.8.15	Damp heat, steady state (destructive).....	36
4.8.16	Immersion in cleaning solvents (non-destructive).....	36

4.9	Endurance test procedure	36
4.9.1	Standard ageing test for production verification	36
4.9.2	Accelerated ageing	37
4.9.3	Reference aging test	38
4.9.4	Extended ageing	39
Annex A (normative) Procedure for the determination of the fitting parameters for the frequency aging		41
Bibliography		43
Figure 1 – Symbol and equivalent electrical circuit of a piezoelectric resonator		11
Figure 2 – Impedance $ Z $, resistance R_e , reactance X_e , series arm reactance X_1 of a piezoelectric resonator as a function of frequency		14
Figure 3 – Impedance and admittance diagram of a piezoelectric resonator		15
Figure 4 – Resonance, anti-resonance and load resonance frequencies		16
Figure 5 – Equivalent circuit of a piezoelectric resonator with a series (load) capacitance C_L		22
Figure 6 – Terminal bend test tool		33
Table 1 – List of symbols used for the equivalent electric circuit of a piezoelectric resonator		19
Table 2 – Solutions for the various characteristic frequencies		21
Table 3 – Minimum values for the ratio Q^2/r to be expected for various types of piezoelectric resonators		21
Table 4 – Approximate relations between the characteristic frequencies and the series resonance frequency f_s of a piezoelectric resonator		21
Table 5 – Time acceleration factors for $E_a = 0,38$ eV		38
Table A.1 – Procedure for the determination of the frequency aging parameters		42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

QUARTZ CRYSTAL UNITS OF ASSESSED QUALITY –

Part 1: Generic specification

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 60122-1 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2002-08) [documents 49/551/FDIS and 49/558/RVD] and its amendment 1 (2017-12) [documents 49/1254/FDIS and 49/1259/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC 60122-1 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

This third edition of IEC 60122-1 constitutes a technical revision.

International Standard IEC 60122-1 is the first part of a new edition of the IEC standard series for quartz crystal units of assessed quality.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

IEC 60122 consists of the following parts under the general title: Quartz crystal units of assessed quality:

- Part 1: Generic specification (IEC 60122-1);
- Part 2: Guide to the use of quartz crystal units for frequency control and selection (IEC 60122-2 at present);
- Part 3: Standard outlines and lead connections (IEC 60122-3);
- Part 4: Sectional specification – Capability Approval (IEC 61178-2 at present);
- Part 4-1: Blank detail specification – Capability Approval (IEC 61178-2-1 at present);
- Part 5: Sectional specification – Qualification Approval (IEC 61178-3 at present);
- Part 5-1: Blank detail specification – Qualification Approval (IEC 61178-3-1 at present).

The QC number which appears on the front cover of this publication is the specification number in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ).

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment 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.

QUARTZ CRYSTAL UNITS OF ASSESSED QUALITY –

Part 1: Generic specification

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 60122 specifies the methods of test and general requirements for quartz crystal units of assessed quality using either capability approval or qualification approval procedures.

1.2 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 60027(all parts), *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 60050(561):1991, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 561: Piezoelectric devices for frequency control and selection*

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1:1990, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests A: Cold*

IEC 60068-2-2:1974, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-3:1969, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ca: Damp heat, steady state*

IEC 60068-2-6:1995, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-7:1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ga: Acceleration, steady state*

IEC 60068-2-13:1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 60068-2-14:1984, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17:1994, *Basic environmental testing procedures – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-20:1979, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test T: Soldering*

IEC 60068-2-21:1999, *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-27:1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-29:1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Eb and guidance: Bump*

IEC 60068-2-30:1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12-hour cycle)*

IEC 60068-2-32:1975, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ed: Free fall (Procedure 1)*

IEC 60068-2-45:1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents*

IEC 60122-3:2001, *Quartz crystal units of assessed quality – Part 3: Standard outlines and lead connections*

IEC 60444-1:1986, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network – Part 1: Basic method for the measurement of resonance frequency and resonance resistance of quartz crystal units by zero phase techniques in a π -network*

IEC 60444-2:1980, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network – Part 2: Phase offset method for the measurement of motional capacitance of quartz crystal units*

IEC 60444-4:1988, *Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -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 unit parameters – Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error corrections*

IEC 60444-6:1995, *Measurement of quartz crystal unit parameters – Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)*

IEC 60617 (all parts), *Graphical symbols for diagrams*

IEC 61178-2:1993, *Quartz crystal units – A specification in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Part 2: Sectional specification – Capability approval*

IEC 61178-3:1993, *Quartz crystal units – A specification in the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Part 3: Sectional specification – Qualification approval*

IEC 61760-1:2006, *Surface mounting technology – Part 1: Standard method for the specification of surface mounting components (SMDs)*

IEC QC 001001:2000, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Basic Rules*

IEC QC 001002-2:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of Procedure – Part 2: Documentation*

IEC QC 001002-3:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of Procedure – Part 3: Approval Procedures*

IEC QC 001005:2000, *Register of firms, products and services approved under the IECQ System, including ISO 9000*

ISO 1000:1992, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*

1.3 Order of precedence

Where any discrepancies occur for any reason, documents shall rank in the following order of precedence:

- the detail specification;
- the sectional specification;

- the generic specification;
- any other international documents (for example of the IEC) to which reference is made.

The same order of precedence shall apply to equivalent national documents.

2 Terminology and general requirements

2.1 General

Units, graphical symbols, letter symbols and terminology shall, wherever possible, be taken from the following standards: IEC 60027, IEC 60050(561), IEC 60617 and ISO 1000.

2.2 Terms, definitions and classification of phenomena

The following paragraphs contain additional terminology applicable to quartz crystal units and describe certain phenomena in this context.

2.2.1

crystal element (crystal blank)

piezoelectric material cut to a given geometrical shape, size and orientation with respect to the crystallographic axes of the crystal

2.2.2

electrode

an electrically conductive plate or film in contact with, or in proximity to, a face of a crystal element by means of which an electric field is applied to the element

2.2.3

crystal resonator

a mounted crystal element that vibrates when an alternating electric field exists between the electrodes

2.2.4

mounting

the means by which the crystal resonator is supported (within its enclosure)

2.2.5

enclosure

the enclosure protecting the crystal resonator(s) and mounting

2.2.6

enclosure type

a crystal enclosure of specific outline dimensions and material with a defined method of sealing

2.2.7

crystal unit

a crystal resonator mounted in an enclosure

2.2.8

socket

a component into which the crystal unit is inserted to hold the crystal unit and to provide electrical connection

2.2.9

mode of vibration

the pattern of motion in a vibrating body of the individual particles resulting from stresses applied to the body, the frequency of oscillation and the boundary conditions existing. The common modes of vibration are:

- flexural;
- extensional;
- face shear;
- thickness shear.

2.2.10

fundamental crystal unit

a crystal resonator designed to operate at the lowest order of a given mode

2.2.11

overtone crystal unit

a crystal resonator designed to operate at a higher order than the lowest of the given mode

2.2.12

overtone order

the numbers allotted to the successive overtones of a given mode of vibration from the ascending series of integral numbers commencing with the fundamental as unity. For shear and extensional modes, this overtone is the integral multiple of the fundamental frequency to which the overtone frequency approximates

2.2.13

crystal unit equivalent circuit

the electric circuit which has the same impedance as the crystal unit in the region of the desired resonance and anti-resonance frequencies. It is represented by an inductance, capacitance and resistance in series, this series arm being shunted by the capacitance between the terminals of the unit. The parameters of the series branch of inductance, capacitance and resistance are given by L_1 , C_1 and R_1 respectively: these are termed "motional parameters" of the crystal unit. The shunt (parallel) capacitance is denoted by C_0 (see figure 1).

The parameters are independent of frequency for isolated modes of motion. Generally, the mode in question is sufficiently isolated from other modes to permit this assumption. When this is not true, the equations and measuring methods outlined herein do not apply. For identification of symbols used in this standard, see table 1.

NOTE 1 The equivalent circuit does not represent all the characteristics of a crystal unit.

NOTE 2 The values of R_e , X_e , G_p and B_p vary rapidly around the resonance frequency,

where

R_e is the equivalent circuit series resistance of the resonator;

X_e is the equivalent circuit series reactance of the resonator;

G_p is the equivalent circuit parallel conductance of the resonator;

B_p is the equivalent circuit parallel susceptance of the resonator.

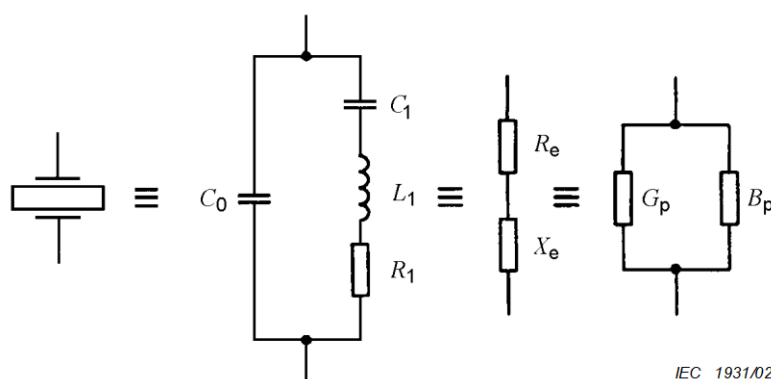


Figure 1 – Symbol and equivalent electrical circuit of a piezoelectric resonator

2.2.14

motional resistance (R_1)

the resistance in the motional (series) arm of the equivalent circuit

2.2.15

motional inductance (L_1)

the inductance in the motional (series) arm of the equivalent circuit

2.2.16

motional capacitance (C_1)

the capacitance in the motional (series) arm of the equivalent circuit

2.2.17

shunt capacitance (C_0)

the capacitance in parallel with the motional arm of the equivalent circuit

2.2.18

parameters of piezoelectric resonators

the fundamental parameters C_1 , L_1 , R_1 and C_0 define the equivalent electric circuit shown in figure 1, and all other parameters may be derived from them. At a given frequency, the parameters of the equivalent electric circuit generally approach constant values as the amplitude of vibration approaches zero. The amplitude which can be tolerated before the parameters are appreciably affected varies widely between resonators of various types and can only be determined by experiment.

The equation for the impedance Z or admittance Y :

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{j}{\omega C_0} \times \frac{\Omega - j\delta}{1 - \Omega + j\delta} \quad (1)$$

of the equivalent electric circuit of the piezoelectric resonator is the basic equation describing the relationships between the various parameters.

In equation (1):

$$\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2} \quad \text{and} \quad \delta = 2\pi f C_0 R_1$$

are the normalized frequency factor and the normalized damping factor, respectively. See table 1, for definitions of f_p , f_s , and the other symbols used in equation (1) and for other essential parameters. The characteristic frequencies of equation (1) are defined in table 2.

The magnitude of the impedance of the equivalent electric network ($|Z|$), its resistive component (R_e), its reactive component (X_e), and the reactance X_1 of the L_1 , C_1 , R_1 branch are plotted as functions of frequency in figure 2, for the purpose of defining the different characteristic frequencies. $|Z_m|$ and $|Z_n|$ denote minimum and maximum impedance respectively, and R_r , R_a the impedances at zero phase angle. These curves, however, have only qualitative character and do not represent a particular piezoelectric resonator.

For further clarification, the impedance and admittance circles of a piezoelectric resonator are reproduced in figure 3. However, the circle representation of the impedance or admittance of a piezoelectric resonator is valid only if the circle diameter of the admittance diagram is large compared with the change of $2\pi fC_0$ in the resonance range or if $r \ll Q^2$, which is fulfilled in most resonators. If the latter conditions are not fulfilled, the admittance curve shows a cissoidal character. Throughout the remainder of this standard, it is assumed that the impedance (or admittance) of the resonator can be represented by a circle diagram. Table 3 gives data for Q , r , and Q^2/r for various types of resonators, indicating that this assumption is valid for all practical cases.

It is necessary to make approximations in deriving practical equations for general use. It is the error of these approximations, in addition to the errors of instrumentation that govern the overall accuracy of the experimentally derived parameters.

As a first approximation sufficient for many practical purposes, the following assumptions can be made:

$$f_m = f_r = f_s \quad \text{and} \quad f_a = f_n = f_p$$

More exact relations between the characteristic frequencies f_m , f_r , f_a , f_p , f_n , and the series resonance frequency f_s of a resonator, valid for the figure of merit $M > 10$ and the capacitance ratio $r > 10$, are shown in table 4. These relationships have been derived by various authors under the assumption that $M \gg 1$.

The separation between parallel and series resonance frequencies is given by:

$$\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2} = \frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{r} \quad (2)$$

The approximation:

$$\begin{aligned} \frac{f_p - f_s}{f_s} &= \sqrt{1 + r^{-1}} - 1 \\ &= \frac{1}{2r} \left(1 - \frac{1}{4r} + \dots \right) \approx \frac{1}{2r} \\ &= \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0} \end{aligned} \quad (3)$$

can be used for larger values of r (for example, when r is greater than 25, the error is less than 1 %).

2.2.19**resonance frequency (f_r)**

the lower of the two frequencies of the crystal unit alone, under specified conditions, at which the electrical impedance of the crystal unit is resistive

2.2.20**resonance resistance (R_r)**

the resistance of the crystal unit alone at the resonance frequency f_r

2.2.21**anti-resonance frequency (f_a)**

the higher of the two frequencies of the crystal unit alone, under specified conditions, at which the electrical impedance of the crystal unit is resistive

2.2.22**load capacitance (C_L)**

the effective external capacitance associated with the crystal unit which determines the load resonance frequency f_L

2.2.23**load resonance frequency (f_L)**

one of the two frequencies of a crystal unit in association with a series or with a parallel load capacitance, under specified conditions at which the electrical impedance of the combination is resistive. The load resonance frequency is the lower of the two frequencies when the load capacitance is in series and the higher when it is in parallel (see figure 4).

For a given value of load capacitance C_L , these frequencies are identical for all practical purposes and are given by the expression

$$\frac{1}{f_L} = 2\pi \sqrt{\frac{L_1 C_1 (C_0 + C_L)}{C_1 + C_0 + C_L}} \quad (4)$$

NOTE 1 The frequencies defined in 2.2.19, 2.2.21 and 2.2.23 are listed as being the terms more commonly used. The frequencies associated with a quartz crystal are numerous and for a full explanation tables 2 and 4 should be consulted.

NOTE 2 When higher accuracies are required or secondary data (for example, values of crystal unit motional parameters) are to be derived from the frequency measurements, table 1, IEC 60444-1 and IEC 60444-5 should be consulted.

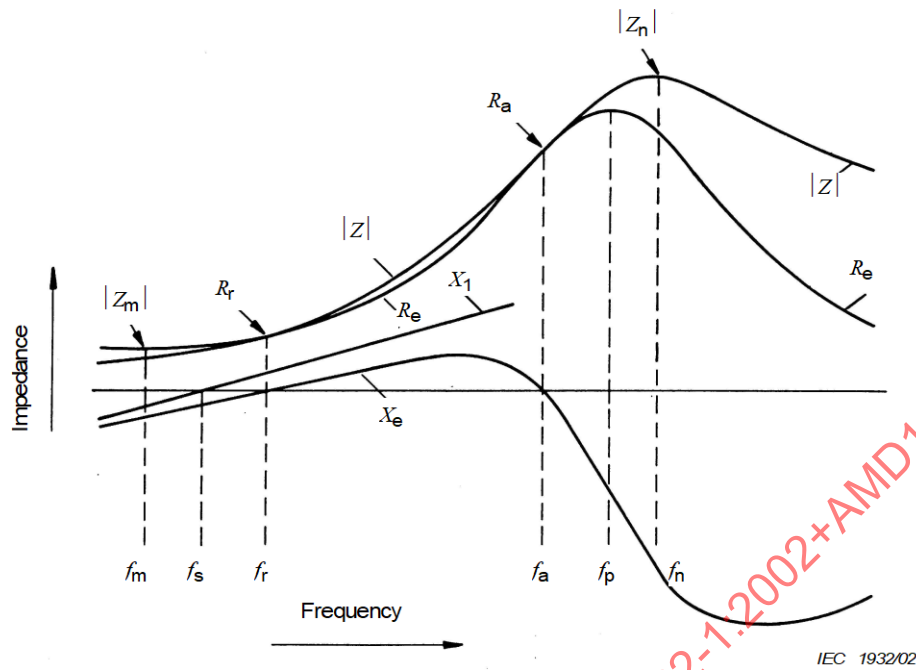
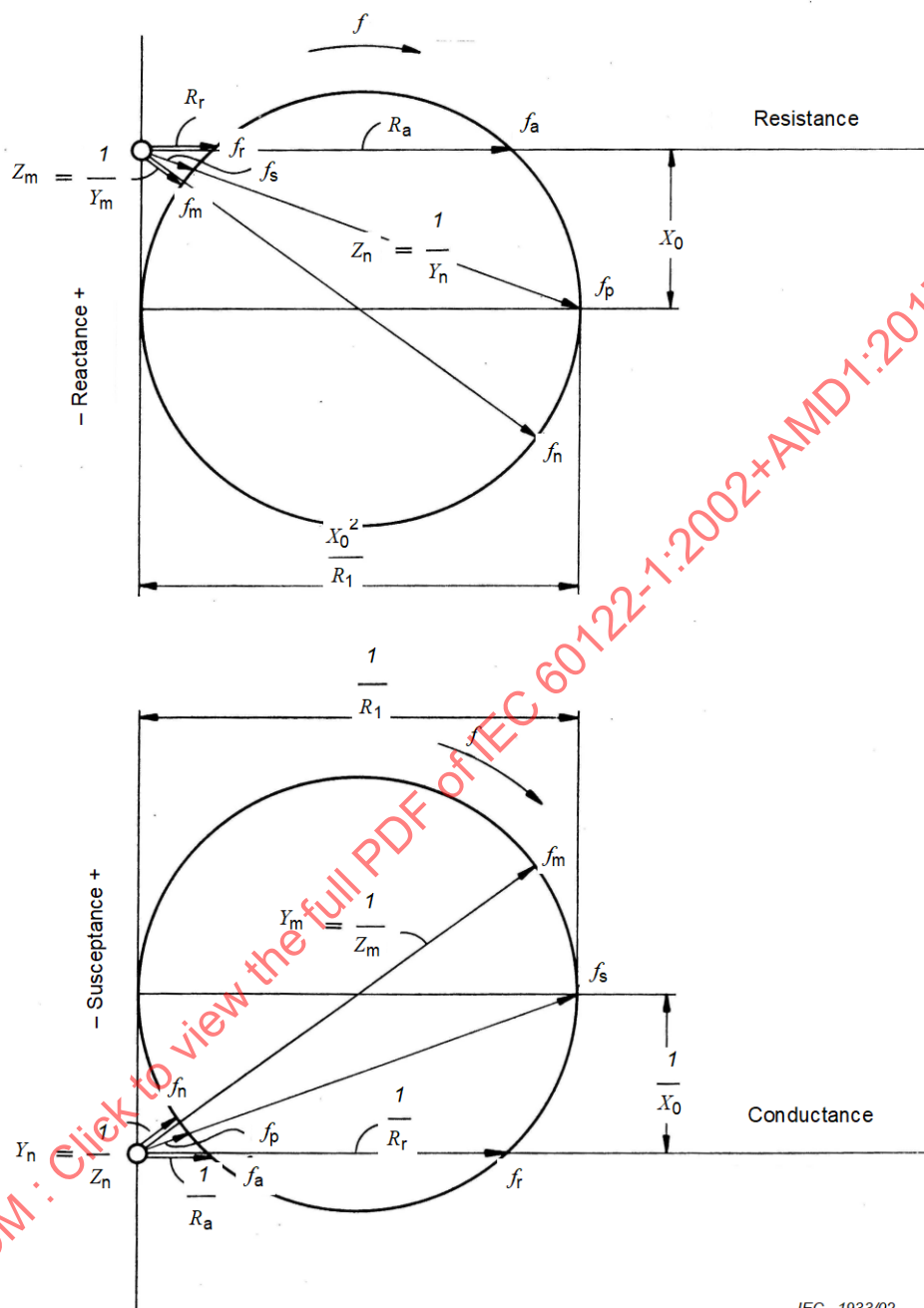


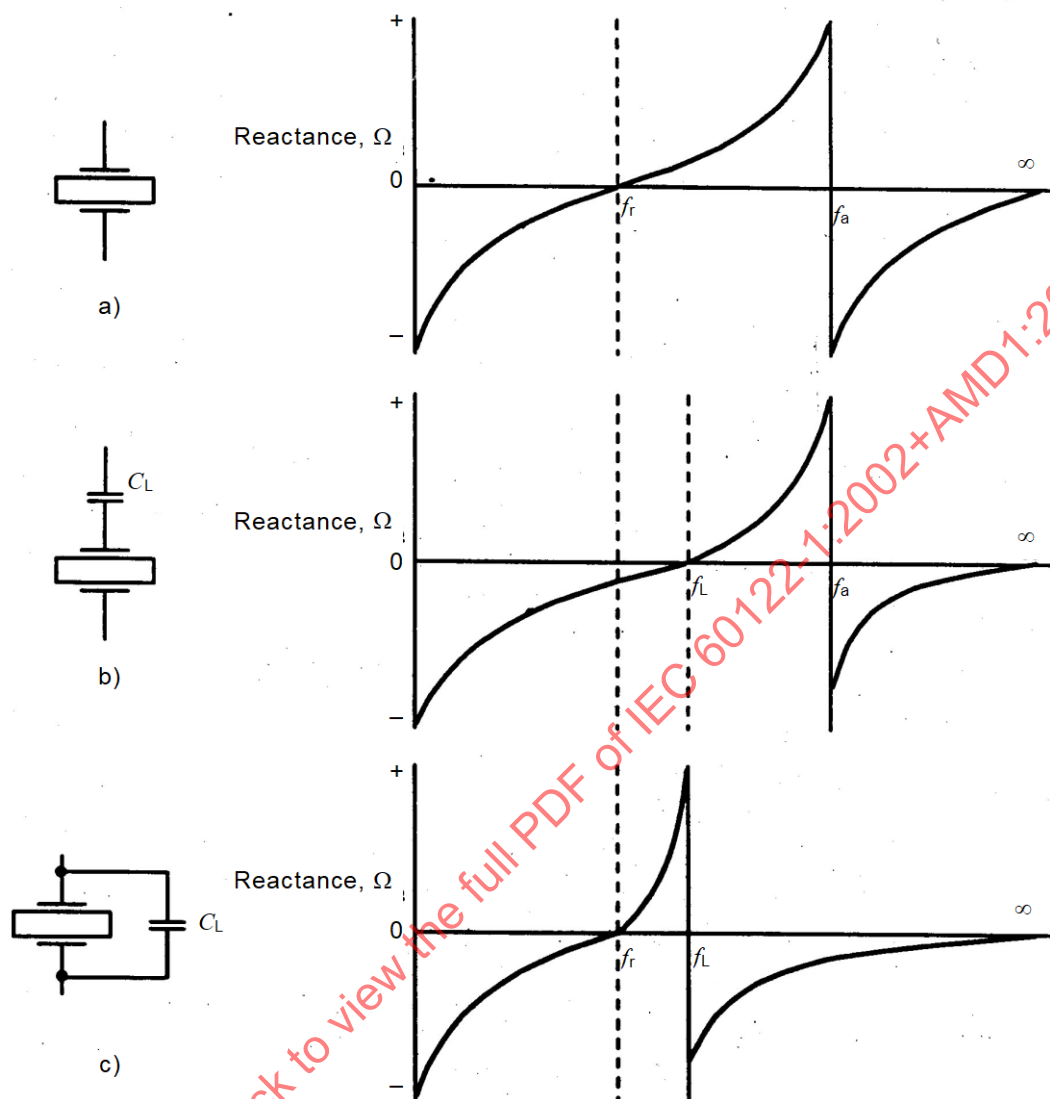
Figure 2 – Impedance $|Z|$, resistance R_e , reactance X_e , series arm reactance X_1 of a piezoelectric resonator as a function of frequency



IEC 1933/02

Figure 3 – Impedance and admittance diagram of a piezoelectric resonator

The symbols conform with those in table 1 and figure 2.



IEC 1934/02

NOTE 1 The values of load capacitances shown in b) and c) are equal.

NOTE 2 See 2.2.19, 2.2.21 and 2.2.23.

Figure 4 – Resonance, anti-resonance and load resonance frequencies

2.2.24

load resonance resistance (R_L)

the resistance of the crystal unit in series with a stated external capacitance at the load resonance frequency f_L .

NOTE To a close approximation the value of R_L is related to the value of R_r by the expression:

$$R_L \cong R_r \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \quad (5)$$

2.2.25

nominal frequency (f_{nom})

the frequency assigned to the crystal unit by the manufacturer

2.2.26

working frequency (f_w)

the operational frequency of the crystal unit together with associated circuits

2.2.27

load resonance frequency offset (Δf_L)

$$\Delta f_L = f_L - f_r \quad (6)$$

It can be calculated approximately from

$$\Delta f_L \cong \frac{f_r C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad (7)$$

In usage, the load resonance frequency offset Δf_L for a given value of load capacitance can be written as, for instance, Δf_{30} or Δf_{20} to indicate the actual value of load capacitance in picofarads involved.

2.2.28

fractional load resonance frequency offset (D_L)

$$D_L = \frac{f_L - f_r}{f_r} \quad (8)$$

It can be calculated approximately from

$$D_L \cong \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad (9)$$

This can also be written as, for instance, D_{30} to indicate the fractional load resonance frequency offset D_L with a load capacitance of 30 pF.

2.2.29

frequency pulling range ($\Delta f_{L1,L2}$)

$$\Delta f_{L1,L2} = |f_{L1} - f_{L2}| \quad (10)$$

It can be calculated approximately from:

$$\Delta f_{L1,L2} = \left| \frac{f_r C_1 (C_{L2} - C_{L1})}{2(C_0 + C_{L1})(C_0 + C_{L2})} \right| \quad (11)$$

This can also be written as, for instance $\Delta f_{20,30}$ to indicate the frequency pulling range between load capacitances of 20 pF and 30 pF

2.2.30

fractional pulling range ($D_{L1,L2}$)

$$D_{L1,L2} = \left| \frac{f_{L1} - f_{L2}}{f_r} \right| = |D_{L1} - D_{L2}| \quad (12)$$

It can be calculated approximately from:

$$D_{L1,L2} = \left| \frac{C_1(C_{L2} - C_{L1})}{2(C_0 + C_{L1})(C_0 + C_{L2})} \right| \quad (13)$$

This can be written as, for instance, $D_{20,30}$, to indicate the fractional pulling range between load capacitances of 20 pF and 30 pF

2.2.31

pulling sensitivity (S)

$$S = \frac{dD_L}{dC_L} \cong \frac{-C_1}{2(C_0 + C_L)^2} \quad (14)$$

This can be written as, for instance, S_{30} , to indicate the pulling sensitivity at a load capacitance of 30 pF

2.2.32

operating temperature range

the range of temperatures as measured on the enclosure, over which the crystal unit shall be within the specified tolerances

2.2.33

operable temperature range

the range of temperatures as measured on the enclosure over which the crystal unit will not sustain permanent damage though not necessarily functioning within the specified tolerances

2.2.34

storage temperature range

the minimum and maximum temperatures, as measured on the enclosure, at which the crystal unit may be stored without deterioration or damage to its performance

2.2.35

reference temperature

the temperature at which certain crystal measurements are made. For controlled temperature units, the reference temperature is the mid-point of the controlled temperature range. For non-controlled temperature units, the reference temperature is normally $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.2.36

level of drive

a measure of the conditions imposed upon the crystal unit. This may be expressed in terms of current through or power dissipated in the crystal element

2.2.37

drive level dependency

drive level dependency (DLD) is the effect of changes in drive level conditions upon the resonance resistance of the crystal unit. This parameter can be specified by defining the ratio of resistance between two specified drive levels. This ratio is represented by the expression:

$$\frac{R_{r1}}{R_{r2}}$$

where

R_{r1} is the resistance at the lower level of drive;

R_{r2} is the resistance at the higher level of drive.

2.2.38**unwanted response**

a state of resonance of a crystal resonator other than that associated with the working frequency

2.2.39**frequency tolerance**

the maximum permissible deviation of the working frequency due to a specified cause or a combination of causes. The frequency tolerance is usually stated in parts per million (1×10^{-6}) of the nominal frequency

NOTE The tolerances normally used are as follows:

- deviation from nominal frequency at the reference temperature under specified conditions;
- deviation over the temperature range from the frequency at the specified reference temperature;
- deviation as a result of ageing under specified conditions;
- deviation from nominal frequency due to all causes (overall tolerance).

Table 1 – List of symbols used for the equivalent electric circuit of a piezoelectric resonator

Symbols	Meaning	SI units	References		
			Equations	Tables	Figures
B_p	Equivalent parallel susceptance of resonator	S		2	1
C_0	Shunt (parallel) capacitance in the equivalent electric circuit	F	2, 3		1, 5
C_1	Motional capacitance in the equivalent electric circuit	F	2, 3		1, 5
f	Frequency	Hz			3
f_a	Antiresonance frequency, zero susceptance	Hz		2, 4	2, 3
f_m	Frequency of maximum admittance (minimum impedance)	Hz		2, 4	2, 3
f_n	Frequency of minimum admittance (maximum impedance)	Hz		2, 4	2, 3
f_p	Parallel resonance frequency (lossless)	Hz	2, 3	2, 4	2, 3
	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\frac{C_1C_0}{C_1+C_0}}}$				
f_r	Resonance frequency, zero susceptance	Hz		2, 4	2, 3, 4
f_s	Motional (series) resonance frequency	Hz	2, 3	2, 4	2, 3
	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$				
G_p	Equivalent parallel conductance of resonator				1
L_1	Motional inductance in the equivalent electric circuit	H			1, 5
M	Figure of merit of a resonator	Dimensionless		3, 4	
	$M = \frac{Q}{r}$				

Symbols	Meaning	SI units	References		
			Equations	Tables	Figures
Q	Quality factor: $Q = \frac{W_s L_1}{R_1}$	Dimensionless		3	
r	Capacitance ratio: $r = \frac{C_0}{C_1}$	Dimensionless	2, 3	2, 3, 4	
R_a	Impedance at zero phase angle near antiresonance	Ω			2, 3
R_e	Equivalent series resistance of resonator	Ω			1, 2
R_r	Impedance at f_r , zero phase angle	Ω			2, 3
R_1	Motional resistance in the equivalent electric circuit	Ω	15	2	1, 3, 5
X_e	Equivalent series reactance of resonator	Ω			1, 2
X_0	Reactance of shunt (parallel) capacitance at series resonance: $X_0 = \frac{1}{\omega_s C_0}$	Ω			3
X_1	Reactance of motional series arm of resonator: $X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}$	Ω		2	2
Y	Admittance of resonator: $Y = G_p + jB_p = \frac{1}{Z}$	S	1		
Y_m	Maximum admittance of resonator	S			3
Y_n	Minimum admittance of resonator	S			3
Z	Impedance of resonator: $Z = R_e + jX_e$	Ω	1		
Z_m	Minimum impedance of resonator	Ω			2, 3
Z_n	Maximum impedance of resonator	Ω			2, 3
$ Z $	Absolute value of impedance of resonator: $Z = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$	Ω		2	2
$ Z_m $	Absolute value of impedance at f_m (minimum impedance)	Ω			2
$ Z_n $	Absolute value of impedance at f_n (maximum impedance)	Ω			2
δ	Normalized damping factor: $\delta = \omega C_0 R_1$	Dimensionless	1	2	
Ω	Normalized frequency factor: $\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2}$	Dimensionless	1	2	
ω	Circular (angular) frequency: $\omega = 2\pi f$	rad/s		2	
ω_s	Circular frequency at motional resonance: $\omega_s = 2\pi f_s$	rad/s			
C_L	Load capacitance	F	4, 15	1	4, 5
f_L	Load resonance frequency of combination of resonator and C_L $f_L = f_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}}$	Hz	15	1	4

Table 2 – Solutions for the various characteristic frequencies

Characteristic frequencies	Meaning	Condition	Constituent equation for frequency
f_m	Frequency of maximum admittance (minimum impedance)	$\frac{d Z }{d\omega} = 0$	$(\Omega^2 + \delta^2)^2 - 2\delta^2(\Omega + r) - 2\Omega r(1 - \Omega) - \Omega^2 = 0$
f_s	Motional (series) resonance frequency	$X_1 = 0$	$\Omega = 0$
f_r	Resonance frequency	$X_e = B_p = 0$	$\Omega(1 - \Omega) - \delta^2 = 0$
f_a	Antiresonance frequency	$X_e = B_p = 0$	$\Omega(1 - \Omega) - \delta^2 = 0$
f_p	Parallel resonance frequency (loss-less)	$ X_e = \infty$ for $R_1 = 0$	$\Omega = 1$
f_n	Frequency of minimum admittance (maximum impedance)	$\frac{d Z }{d\omega} = 0$	$(\Omega^2 + \delta^2)^2 - 2\delta^2(\Omega + r) - 2\Omega r(1 - \Omega) - \Omega^2 = 0$

Table 3 – Minimum values for the ratio Q^2/r to be expected for various types of piezoelectric resonators

Type of piezoelectric resonator	$Q = M r$	r	Q^2/r min
Piezoelectric ceramics	90 – 500	2 – 40	200
Water-soluble piezoelectric crystals	200 – 50 000	3 – 500	80
Quartz	$10^4 - 10^7$	100 – 50 000	2 000

Table 4 – Approximate relations between the characteristic frequencies and the series resonance frequency f_s of a piezoelectric resonator

Characteristic frequency	1 st approximation		2 nd approximation	
	$\frac{f}{f_s}$	Deviation $\frac{\Delta f}{f_s}$ from a more precise value	$\frac{f}{f_s}$	Deviation $\frac{\Delta f}{f_s}$ from a more precise value
f_m	$\frac{f_m}{f_s} = 1$	$-\frac{1}{2M^2 r}$	$\frac{f_m}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}} \right]$	$\frac{1}{2M^4 r^2}$
f_r	$\frac{f_r}{f_s} = 1$	$\frac{1}{2M^2 r}$	$\frac{f_r}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}} \right]$	$\frac{1}{2M^4 r^2}$
f_a	$\frac{f_a}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$-\frac{1}{2M^2 r} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$	$\frac{f_a}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{4}{M^2}} \right]$	$-\frac{1}{2M^2 r} \times \frac{1}{r}$
f_n	$\frac{f_n}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$\frac{1}{2M^2 r} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$	$\frac{f_n}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{2r}} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{M^2}} \right]$	$\frac{1}{2M^2 r} \times \frac{1}{r}$
f_p	$\frac{f_p}{f_s} = 1 + \frac{1}{2r}$	$-\frac{1}{8r^2}$	$\frac{f_p}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{r}}$	0

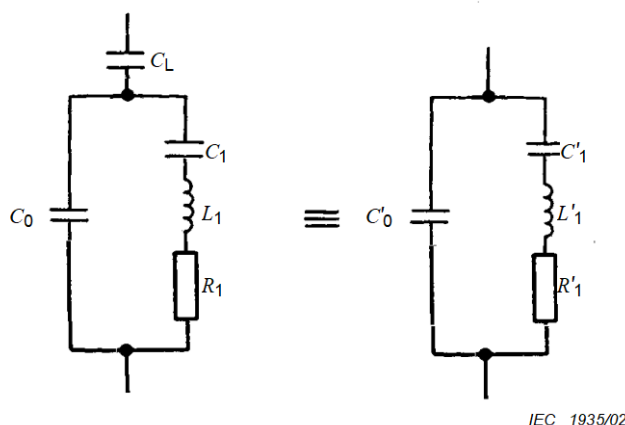


Figure 5 – Equivalent circuit of a piezoelectric resonator with a series (load) capacitance C_L

$$L'_1 = L_1 \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2$$

$$C'_1 = C_1 \frac{1}{\left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \left(1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L} \right)} \quad (15)$$

$$R'_1 = R_1 \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2$$

$$C'_0 = \left(\frac{C_0 C_L}{C_0 + C_L} \right)$$

$$f_L = f_s \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}} \approx f_s \left(1 + \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \right)$$

2.3 Preferred ratings and characteristics

Values should preferably be chosen from the following paragraphs.

2.3.1 Temperature ranges in degrees Celsius (°C) suitable for ambient operation

–55 to +125	–30 to +80	–10 to +60
–55 to +105	–30 to +70	–10 to +50
–55 to +100	–25 to +80	0 to +60
–55 to +90	–20 to +85	0 to +50
–40 to +90	–20 to +80	+5 to +55
–40 to +85	–20 to +70	+10 to +40
–40 to +80	–20 to +60	+15 to +50
–40 to +70	–10 to +70	

2.3.2 Elevated temperature ranges in degrees Celsius (°C) suitable for oven control

60 ± 5	75 ± 5
65 ± 5	80 ± 5
70 ± 5	85 ± 5

2.3.3 Frequency tolerance (1×10^{-6})

±200	±25	±7,5
±100	±20	±5
±50	±15	±4
±40	±10	±2,5
±30		±1

2.3.4 Circuit conditions

10 pF load capacitance
 15 pF load capacitance
 20 pF load capacitance
 30 pF load capacitance
 50 pF load capacitance
 Series resonance.

2.3.5 Levels of drive

Thickness shear/AT:

Current, in μA

150

200

1 000

2 000

Power, in μW

1

10

100

500

Flexure and face shear:

Current, in μA

100

200

Extensional:

Current, in μA

500

1 000

2.3.6 Drive level dependency

Resonance resistance Ω	Resistance ratio, $\frac{R_{r1}}{R_{r2}}$
< 5	2,2
5 to 10	2,0
10 to 20	1,8
20 to 35	1,5
35 to 50	1,3
>50	1,2

2.3.7 Climatic category

55/105/56

For requirements where the operating temperature range of the crystal unit is greater than –55 °C to +105 °C, a climatic category consistent with the operating temperature range shall be specified.

2.3.8 Bump severity

4 000 ± 10 bumps at 390 m/s² peak acceleration in each direction along three mutually perpendicular axes (see 4.8.6).

Pulse duration 6 ms.

2.3.9 Vibration severity

10 Hz to 55 Hz
0,75 mm displacement amplitude
(peak value)
55 Hz to 500 Hz
or 55 Hz to 2 000 Hz
98,1 m/s² acceleration amplitude
(peak value)

30 min in each of three mutually perpendicular
axes at 1 octave/min (see 4.8.7)

10 Hz to 55 Hz
1,5 mm displacement amplitude
(peak value)
55 Hz to 2 000 Hz
196,2 m/s² acceleration amplitude
(peak value)

30 min in each of three mutually perpendicular
axes at 1 octave/min (see 4.8.7)

Random vibration severities: under consideration

2.3.10 Shock severity

981 m/s² peak acceleration for 6 ms duration; three shocks in each direction along three mutually perpendicular axes (see 4.8.8), half sine pulse, unless otherwise stated in the detail specification.

2.3.11 Leak rate

10^{-3} Pa·cm³/s (10^{-8} bar·cm³/s).

2.4 Marking

2.4.1 The information given in the marking is selected from the following list: the relative importance of each item is indicated by its position in the list:

- a) type designation as defined in the detail specification;
- b) nominal frequency in kilohertz (kHz) or megahertz (MHz);
- c) year and week (four digits) of manufacture;
- d) factory identification code;
- e) manufacturer's name or trade mark;
- f) mark of conformity (unless a certificate of conformity is used).

2.4.2 The crystal units shall be clearly marked with a), b) and c) above and with as many as possible of the remaining items as is considered necessary. Any duplication of information in the marking on the crystal unit should be avoided.

Where the available surface area of miniature crystal enclosures imposes practical limits on the amount of marking, instructions on the marking to be applied shall be given in the detail specification.

2.4.3 The primary package containing the crystal unit(s) shall be clearly marked with all the information listed in 2.4.1.

2.4.4 Any additional marking shall be so applied that no confusion can arise.

3 Quality assessment procedures

Two methods are available for the approval of quartz crystal units of assessed quality. They are qualification approval and capability approval.

3.1 Primary stage of manufacture

In accordance with 3.1.1.2 of IEC QC 001002-3, the primary stage of manufacture is the final surface finishing of the crystal element.

NOTE The final surface finishing of the crystal element could be any of the following operations: lapping; polishing; etching; cleaning, in the case of polished plates.

3.2 Structurally similar components

The grouping of structurally similar components for the purpose of qualifications approval, capability approval and quality conformance inspection shall be prescribed in the relevant sectional specification.

3.3 Subcontracting

These procedures shall be in accordance with 3.1.2 of IEC QC 001002-3.

However, the final surface finishing of the crystal elements and all subsequent processes shall be carried out by the manufacturer to whom approval has been granted.

3.4 Manufacturer's approval

To obtain manufacturer's approval the manufacturer shall meet the requirements of clause 2 of IEC QC 001002-3.

3.5 Approval procedures

3.5.1 General

To qualify a quartz crystal unit, either capability approval or qualification approval procedures may be used. These procedures shall conform to those stated in IEC QC 001001 and IEC QC 001002-3.

3.5.2 Capability approval

Capability approval is appropriate when structurally similar quartz crystal units based on common design rules, are fabricated, by a group of common processes.

Under capability approval detail specifications fall into the following three categories.

a) Capability qualifying components (CQCs)

A detail specification shall be prepared for each CQC as agreed with the National Supervising Inspectorate (NSI). It shall identify the purpose of the CQC and include all relevant stress levels and test limits.

b) Standard catalogue items

When a component covered by the capability approval procedure is intended to be offered as a standard catalogue item, a detail specification complying with the blank detail specification shall be written. Such specifications shall be registered by the IECQ and the component may be listed in IEC QC 001005.

c) Custom built quartz crystal units

The content of the detail specification shall be determined by agreement between the manufacturer and the customer in accordance with 4.3.3 of IEC QC 001002-3.

Further information on detail specifications is contained in the sectional specification IEC 61178-2.

The product and capability qualifying components (CQCs) are tested in combination and approval given to a manufacturing facility on the basis of validated design rules, processes and quality control procedures. Further information is given in 3.6 and in the sectional specification IEC 61178-2.

3.5.3 Qualification approval

Qualification approval is appropriate for components manufactured to a standard design and established production process and conforming to a published detail specification.

The programme of tests defined in the detail specification for the appropriate assessment and severity level applies directly to the quartz crystal unit to be qualified, as prescribed in 3.7 and the sectional specification IEC 61178-3.

3.6 Procedures for capability approval

3.6.1 General

The procedures for capability approval shall be in accordance with IEC QC 001002-3.

3.6.2 Eligibility for capability approval

The manufacturer shall comply with the requirement of 4.2.1 of IEC QC 001002-3 and the primary stage of manufacture as defined in 3.1 of this generic specification.

3.6.3 Application for capability approval

In order to obtain capability approval the manufacturer shall apply the rules of procedure given in clause 4 of IEC QC 001002-3.

3.6.4 Granting of capability approval

Capability approval shall be granted when the procedures in accordance with 4 of IEC QC 001002-3 have been successfully completed.

3.6.5 Capability manual

The contents of the capability manual shall be in accordance with the requirements of the sectional specification. The NSI shall treat the capability manual as a confidential document. The manufacturer may, if he so wishes, disclose part or all of it to a third party.

3.7 Procedures for qualification approval

3.7.1 General

The procedures for qualification approval shall be in accordance with clause 3 of IEC QC 001002-3.

3.7.2 Eligibility for qualification approval

The manufacturer shall comply with the requirements of 3.1.1 of IEC QC 001002-3 and the primary stage of manufacture as defined in 3.1 of this generic specification.

3.7.3 Application for qualification approval

In order to obtain qualification approval the manufacturer shall apply the procedures given in 3.1.3 of IEC QC 001002-3.

3.7.4 Granting of qualification approval

Qualification approval shall be granted when the procedures in accordance with 3.1.5 of IEC QC 001002-3 have been successfully completed.

3.7.5 Quality conformance inspection

The blank detail specification associated with the sectional specification shall prescribe the test schedule for quality conformance inspection.

3.8 Test procedures

The test procedures to be used shall be selected from this generic specification. If any required test is not included, then it shall be defined in the detail specification.

3.9 Screening requirements

Where screening is required by the customer for quartz crystal units this shall be specified in the detail specification.

3.10 Rework and repair work

3.10.1 Rework

Rework is the rectification of processing errors and shall not be carried out if prohibited by the sectional specification. The sectional specification shall state if there is a restriction on the number of occasions that rework may take place on a specific component.

All rework shall be carried out prior to the formation of the inspection lot offered for inspection to the requirements of the detail specification.

Such rework procedures shall be fully described in the relevant documentation produced by the manufacturer and shall be carried out under the direct control of the chief inspector. Sub-contracting of rework is not permitted.

3.10.2 Repair work

Repair work is the correction of defects in a component after release to the customer.

Components that have been repaired can no longer be considered as representative of the manufacturer's production and may not be released under the IECQ System.

3.11 Certified records of released lots

The requirements of clause 1.5 of IEC QC 001002-2 shall apply. When certified records of released lots (CRRL) are prescribed in the sectional specification for qualification approval and are requested by the customer, the results of the specified tests shall be summarized.

3.12 Validity of release

Crystal units held for a period exceeding two years following acceptance inspection shall be reinspected for the electrical tests detailed in 4.7.1 and 4.7.3, with a sample tested as described in item a) of 4.8.3, prior to release.

3.13 Release for delivery

Quartz crystal units shall be released in accordance with 3.2.6 and 4.3.2 of IEC QC 001002-3.

3.14 Unchecked parameters

Only those parameters of a component which have been specified in a detail specification and which were subject to testing can be assumed to be within the specified limits. It should not be assumed that any parameter not specified will remain unchanged from one component to another. Should it be necessary for further parameters to be controlled, then a new, more extensive, detail specification should be used. Any additional test method(s) shall be fully described and appropriate limits, AQLs and inspection levels specified.

4 Test and measurement procedures

4.1 General

The test and measurement procedures shall be carried out in accordance with the relevant detail specification.

4.2 Alternative test methods

Measurements shall preferably be carried out using the methods specified. Any other method giving equivalent results may be used except in case of dispute.

NOTE By “equivalent” it is meant that the value of the characteristic established by such other method falls within the specified limits when measured by the specified method.

4.3 Precision of measurement

The limits given in detail specifications are true values. Measurement inaccuracies shall be taken into account when evaluating the results. Precautions should be taken to reduce measurement errors to a minimum.

4.4 Standard conditions for testing

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under the standards atmospheric conditions for testing as specified in 5.3 of IEC 60068-1.

Temperature	15 °C to 35 °C
Relative humidity	45 % to 75 %
Air pressure	86 kPa to 106 kPa (860 mbar to 1 060 mbar)

In case of dispute, the referee conditions are:

Temperature	25 °C $\pm$ 1 °C
Relative humidity	48 % to 52 %
Air pressure	86 kPa to 106 kPa (860 mbar to 1 060 mbar)

Before measurements are made, the crystal units shall be stored at the measuring temperature for a time sufficient to allow the crystal resonator to reach this temperature.

Controlled recovery conditions and standard conditions for assisted drying are given in 5.4 of IEC 60068-1.

The ambient temperature during the measurements shall be recorded and stated in the test report.

4.5 Visual inspection

Unless otherwise specified, external visual examination shall be performed under normal factory lighting and visual conditions.

4.5.1 Visual test A

The crystal unit shall be visually examined to ensure that the condition, workmanship and finish are satisfactory. The marking shall be legible.

4.5.2 Visual test B

The crystal unit shall be visually examined under $\times 10$ magnification. There shall be no cracks in the glass or damage to the terminations. Minute flaking around the feather edge of a meniscus shall not be considered a crack.

4.5.3 Visual test C

The crystal unit shall be visually examined. There shall be no corrosion or other deterioration likely to impair satisfactory operation. The marking shall be legible.

4.6 Dimensioning and gauging procedures

4.6.1 Dimensions, test A

The dimensions, spacing and alignment of the terminations shall be checked, where appropriate using the gauges specified. The dimensions, spacing and alignment shall comply with the specified values.

4.6.2 Dimensions, test B

The dimensions shall be measured and they shall comply with the specified values. Dimensions are specified in IEC 60122-3 together with the gauging procedure as appropriate or as specified in the detail specification.

4.7 Electrical test procedures

4.7.1 Frequency and resonance resistance

Unless otherwise defined in the detail specification, the measurements shall be carried out at $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ for non-temperature controlled crystal units; or at the mid-point of the temperature range $\pm 1\text{ °C}$ for temperature controlled units.

The frequency and resonance resistance of the crystal unit shall be measured under the conditions stated in the detail specification and be within the specified limits.

NOTE Preferred methods of measurement are described in IEC 60444-1, IEC 60444-2, IEC 60444-4 and IEC 60444-5 depending on the frequency of the crystal unit under test. Any other measurement method may be used provided results correlate with those obtained using preferred values.

4.7.2 Drive level dependency

It is important that when a drive level dependency test is specified, this test shall be carried out at least five days after any previous activation of the crystal unit (see IEC 60444-6).

Measurements specified in 4.7.1 shall be carried out at two specified drive levels. These are normally at a specified low level of drive followed by a high level of drive. Unless otherwise specified, the low level shall be not more than $50\text{ }\mu\text{A}$ and the upper level not less than $1\,000\text{ }\mu\text{A}$. The change of resonance resistance shall not exceed the limit specified in the detail specification.

4.7.3 Frequency and resonance resistance as a function of temperature

NOTE Tests A and B may be combined only if test A is performed with continuously varying temperature, and is started at the lower extreme of the operating temperature range or -30 °C , whichever is the lower.

The level of drive and load capacitance shall be set at the levels stated in the detail specification, at the reference temperature. No subsequent adjustment shall be made to the test equipment during the tests.

Test A

Starting with the crystal unit at an extreme of the operating temperature range, the frequency and resonance resistance (see 4.7.1) shall be measured over the specified temperature range at discrete temperature intervals of not greater than $1,5\text{ °C}$, allowing the crystal unit to reach thermal equilibrium at each temperature.

The crystal unit may be measured under conditions of continuously varying temperature, provided that tests have shown that with the chosen rate of change of temperature, the results obtained will correlate adequately with those from a stepped variation of temperature.

The crystal unit shall be within the specified limits during this test.

Test B

The temperature of the crystal enclosure shall be raised from $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ in a period not exceeding 1 min. During this test, the frequency and the resonance resistance (see 4.7.1) shall be measured from $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, or below, to $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, so as to provide continuous readings. There shall be no discontinuous variation in frequency and/or resistance. Such discontinuity indicates the presence of moisture within the enclosure.

NOTE The presence of moisture can be verified only by a positive temperature change.

4.7.4 Unwanted responses

The frequency shall be scanned over the range stated in the detail specification while monitoring the resistance of the crystal unit at the drive level stated in the detail specification for the main response.

The ratio of the resonance resistance of any unwanted response to that of the response at the desired resonance frequency shall be not less than the value stated in the detail specification. Alternatively, the resonance resistance of unwanted responses shall be greater than the value stated in the detail specification.

4.7.5 Shunt capacitance

The shunt capacitance C_0 (see figure 1) shall be measured at a frequency below the fundamental resonance frequency of the unit, at which the unit shows no oscillation response. The enclosure (if metal) shall be earthed, unless otherwise stated in the detail specification.

NOTE 1 There is no direct method for measuring C_0 precisely. However, in nearly all practical cases, it is adequate to regard C_0 as the mean of two shunt capacitance values obtained at two frequencies equidistant above and below the resonance frequency f_r and sufficiently removed from f_r for the impedance to be independent of any response.

NOTE 2 C_0 is the shunt capacitance between the two electrodes of the resonator but it should be pointed out that the capacitances of both the electrodes to earth are important elements in many network and frequency control applications.

NOTE 3 Therefore, in the general case, it is necessary to consider the crystal unit as a three terminal network and to evaluate C_0 and the stray capacitances of the two electrodes to earth from open- and short-circuit measurements according to the technique customarily employed when dealing with two-port devices.

The crystal enclosures shall be at earth potential, unless otherwise specified in the detail specification, during the entire series of measurements required for evaluation of the resonator parameters. For this purpose, glass-enclosed crystal units shall be provided with metal shields.

4.7.6 Load resonance frequency and resistance

Test methods for the measurement of load resonance frequency and load resonance resistance are described in IEC 60444-4.

4.7.7 Frequency pulling range (f_{L1} , f_{L2})

The difference between the resonance frequencies with the two specified load capacitances shall be determined using the method described in IEC 60444-4 or any alternative method giving frequency correlation to a degree consistent with the accuracy required.

4.7.8 Motional parameters

Test methods for the measurement of motional parameters are described in IEC 60444-1, IEC 60444-2 and IEC 60444-5.

4.7.9 Insulation resistance

Unless otherwise stated in the detail specification, the insulation resistance shall be measured with a d.c. voltage of $100\text{ V} \pm 15\text{ V}$ for 60 s or less if a stable reading is achieved, applied between:

- terminations isolated from the case;
- isolated terminations connected together and metal parts of the case, if any.

The insulation resistance shall not be less than 500 M Ω .

NOTE When performing this test care should be taken to ensure that no moisture remains on the enclosure from any previous tests.

4.8 Mechanical and environmental test procedures

4.8.1 Robustness of terminations (destructive)

a) Tensile and thrust tests on terminations

The tests shall be performed in accordance with Test Ua₁ (tensile) and Test Ua₂ (thrust) of IEC 60068-2-21.

Unless otherwise stated in the detail specification, the loading mass shall be:

- for pin (plug-in) terminations: 20 N thrust,
- for pin (plug-in) terminations: 20 N tensile,
- for wire (solder) terminations: 10 N tensile.

b) Flexibility of wire terminations

The test shall be performed in accordance with Test Ub (bending) of IEC 60068-2-21.

Unless otherwise stated in the detail specification, the load shall be so restricted that the bend starts $2,5\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ from the body of the crystal unit, the loading mass shall be 5 N and the number of bends shall be three.

c) Terminal bend test (for undercut pins only)

Hold or clamp the body or base of the crystal unit by any convenient means. Use the bending tool shown in figure 6 to engage that segment of the terminals beyond the undercut section of the pins.

NOTE To ensure that bending will occur primarily at the undercut portion, a plate with two clearance holes for the pins may be placed over the pins. This plate may be of such a thickness as to include a portion of the undercut section of the pins.

Bend the pins by means of the tool through $15^\circ \pm 2^\circ$ in one direction, follow by a bend of $30^\circ \pm 2^\circ$ in the opposite direction, and complete by a bend of $15^\circ \pm 2^\circ$ back to the starting position. The rate of bending shall be approximately 5° per second in each direction.

When this test is used, the terminal pins shall not fracture.

4.8.2 Sealing tests (non-destructive)

a) Gross leak test

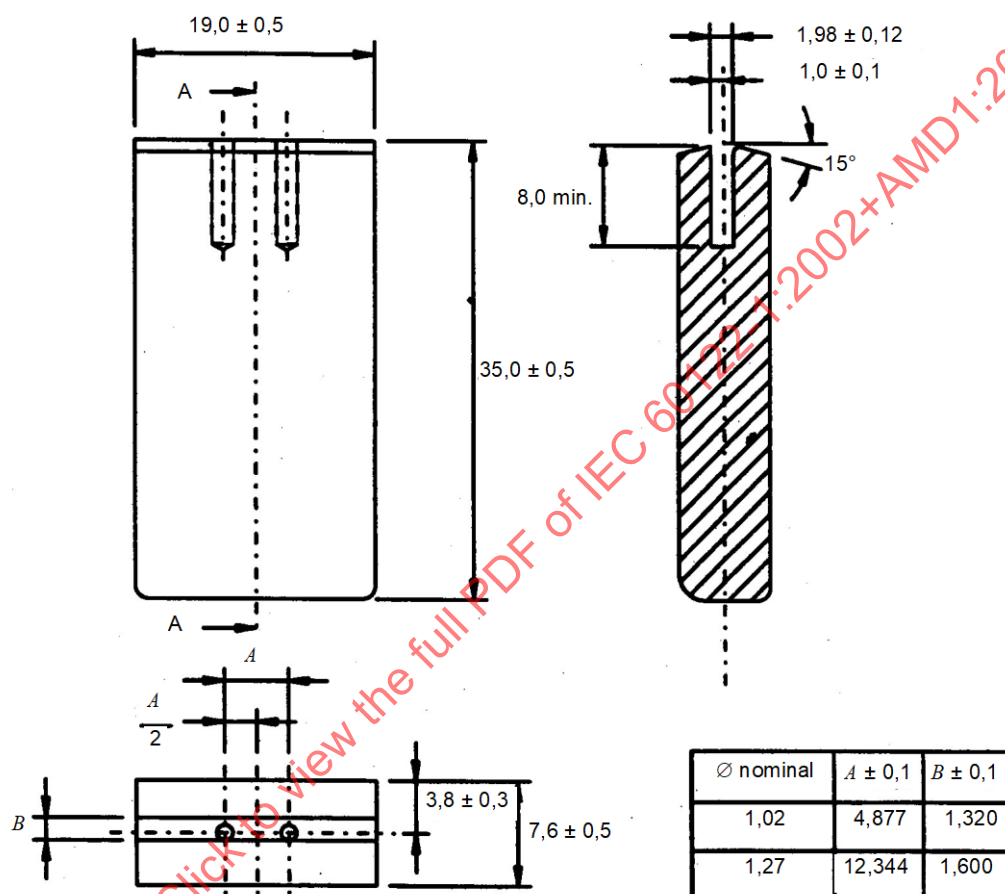
This test shall be performed in accordance with the procedure specified in Test Method 1 or 2 of Test Qc of IEC 60068-2-17.

Method 1

The liquid shall be degassed water and the pressure of air above the water shall be reduced to 8,5 kPa (85 mbar) or less and it shall not be necessary to drain or remove the specimen from the water before breaking the vacuum.

Method 2

The liquid shall be maintained at $125\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. The immersion time shall be 30 s, unless otherwise specified in the relevant detail specification.



IEC 1936/02

Dimensions in millimetres

Figure 6 – Terminal bend test tool

After 1 min, the unit shall be removed from the chamber and exposed to the controlled recovery conditions specified in 5.4.1 of IEC 60068-1.

During the test there shall be no evidence of leakage of gas or air from the inside of the crystal unit. The continuous formation of bubbles shall be evidence of leakage.

b) Fine leak test

The test shall be performed in accordance with 6.4 Test Method 1 of Test Qk of IEC 60068-2-17. Unless otherwise stated in the detail specification, the pressure in the pressure vessel shall be 200 kPa (2 bar).

The maximum leak rate shall not exceed the value given in 2.3.11, unless otherwise stated in the detail specification.

c) Vacuum test for evacuated crystal units (glass enclosure types only)

The vacuum shall be checked by applying a peak voltage not exceeding 15 kV derived from a Tesla coil.

To avoid damage to the crystal unit, the point of application of the test electrode shall be as remote as possible from the crystal resonator and its terminations. To facilitate observation of the resulting discharge, the test shall be carried out in semi-darkness. There shall be no indication of arcing within the enclosure. Where a uniform discharge occurs, it shall be a pale bluish colour.

NOTE This test should be conducted in the shortest possible time, as this test may cause changes in the nominal frequency of the crystal unit under test.

4.8.3 Soldering (solderability and resistance to soldering heat) (destructive)**a) Solderability**

This test shall be performed in accordance with Method 1 of Test Ta of IEC 60068-2-20. A screen of thermally insulating material shall be used to prevent the component being heated by direct radiation from the solder bath. It shall also allow the immersion of the terminations up to a point 2 mm away from the emergence of the terminations from the body, unless otherwise specified in the detail specification. The terminations shall be examined for good tinning, as evidenced by free flowing of the solder with wetting of the terminations.

b) Resistance to soldering heat

This test shall be performed in accordance with Method 1A of Test Tb of IEC 60068-2-20. The immersion time shall be $5\text{ s} \pm 1\text{ s}$, unless otherwise specified in the detail specification. A screen of thermally insulating material shall be used to prevent the component being heated by direct radiation from the solder bath. It shall also allow the immersion of the terminations up to a point 2 mm away from the emergence of the terminations from the body, unless otherwise specified in the detail specification.

4.8.4 Rapid change of temperature, two-fluid bath method (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Nc of IEC 60068-2-14. The units shall be subjected to one cycle in a downward direction from $98\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 15 s to $1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 5 s.

4.8.5 Rapid change of temperature with prescribed time of transition (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Na of IEC 60068-2-14.

For non-temperature-controlled crystal units, the low and high test chamber temperatures shall be the extreme temperatures of the operating range stated in the detail specification. For temperature-controlled crystal units, the low and high temperatures shall be $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively.

The crystal units shall be maintained at each extreme of temperature for 15 min, unless otherwise specified in the detail specification.

The crystal units shall be subjected to 10 complete thermal cycles and then exposed to standard atmospheric conditions for recovery for not less than 2 h.

4.8.6 Bump (destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Eb of IEC 60068-2-29. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The three mutually perpendicular axes in which the bump is to be applied shall include:

- an axis parallel with the terminations;
- an axis perpendicular to the mounting structure at the crystal element.

The degree of severity shall be as specified in 2.3.8, unless otherwise stated in the detail specification.

4.8.7 Vibration (destructive)

a) Vibration (sinusoidal)

The test shall be performed in accordance with Test Fc of IEC 60068-2-6. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The three mutually perpendicular axes in which the acceleration is to be applied shall include:

- an axis parallel with the terminations;
- an axis perpendicular to the mounting structure at the crystal element.

The degree of severity shall be as specified in the detail specification.

b) Random vibration

Under consideration.

4.8.8 Shock (destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Ea of IEC 60068-2-27. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The three mutually perpendicular axes in which the shock is to be applied shall include:

- an axis parallel with the terminations;
- an axis perpendicular to the mounting structure at the crystal element.

The degree of severity shall be as specified in 2.3.10, unless otherwise stated in the detail specification.

4.8.9 Free fall (destructive)

The test shall be performed in accordance with Procedure 1 of Test Ed of IEC 60068-2-32. The crystal unit shall be suspended by its terminations at a height of 1 000 mm and the number of falls shall be two, unless otherwise specified in the detail specification.

4.8.10 Acceleration, steady state (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Ga of IEC 60068-2-7. The crystal units shall be suitably mounted with clamps on the body. The procedure and severity shall be as stated in the detail specification.

This test may be considered destructive at certain severities.

4.8.11 Dry heat (non-destructive)

The test shall be performed in accordance with Test Ba of IEC 60068-2-2. The conditioning shall be carried out at the upper temperature indicated by the climatic category for a duration of 16 h.

4.8.12 Damp heat, cyclic (destructive)

This test shall be performed in accordance with Test Db variant 1 of IEC 60068-2-30, at severity b), 55 °C, for six cycles.

4.8.13 Cold (non-destructive)

This test shall be performed in accordance with Test Aa of IEC 60068-2-1 at the lower temperature indicated by the climatic category for a duration of 2 h.

4.8.14 Climatic sequence (destructive)

The tests and measurements shall be performed in the following order:

- dry heat see 4.8.11
- damp heat cyclic see 4.8.12 (first cycle only)
- cold see 4.8.13
- damp heat cyclic see 4.8.12 (remaining five cycles).

In the climatic sequence, an interval of not more than three days is permitted between any of these tests, except between damp heat cyclic (first cycle) and dry cold.

In such a case, the cold test shall follow immediately after the recovery period specified for the damp heat test.

4.8.15 Damp heat, steady state (destructive)

This test shall be performed in accordance with Test Ca of IEC 60068-2-3 for 56 days, unless otherwise stated in the detail specification.

4.8.16 Immersion in cleaning solvents (non-destructive)

This test is applicable to superficial marking only.

To establish the permanence of marking, this test shall be performed in accordance with test method 1 of test XA of IEC 60068-2-45. The detail specification shall prescribe the solvent to be used.

The marking shall be legible.

4.9 Endurance test procedure

4.9.1 Standard ageing test for production verification

4.9.1.1 Purpose

This test is usable for the statistical verification of aging performance in the production process.

4.9.1.2 Procedure

Take sample from the production lot.

- Initial measurement of f_s and R_1 at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Store in oven at $T_{\text{oven}} = (+85 \pm 3) ^\circ\text{C}$.
- Take and record additional measurements after 1 day and at least three more times at time intervals recommended in Annex A.
- For the measurement, remove the crystals from oven, and store at room temperature for 1 h, avoiding temperature shocks. Measurement of f_s and R_1 at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ in accordance with IEC 60444-5 or equivalent.
- Final measurement of f_s and R_1 at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ after 30 days.

4.9.1.3 Evaluation

The difference between the highest and lowest frequency measurement shall not exceed the specified value. The resistance R_1 shall never exceed the specified maximum values.

4.9.2 Accelerated aging

4.9.2.1 Purpose

For special applications, an accelerated aging procedure at higher temperatures is applied to shorten the verification time and/or to gain performance data at higher operating temperatures.

4.9.2.2 Procedure

The procedure is as in 4.9.1, except that the preferred oven temperature is $T_{\text{oven}} = +105\text{ °C}$, $+125\text{ °C}$ or $+150\text{ °C}$. This temperature has to be lower or equal to the specified maximum storage temperature.

The ratio between the storage time at 25 °C and the storage time at an elevated temperature T_{oven} to achieve the same amount of frequency aging is called "time acceleration factor" (TAF). This factor depends on the design of the crystal unit and on the production process. It can be determined experimentally as described in Annex A, or taken from experience with structurally similar crystals, or can be mutually agreed between the manufacturer and the user.

If the time acceleration factor TAF is not otherwise specified, the following approach is recommended.

Applying Arrhenius's law, the time acceleration factor TAF is related to the activation energy E_a (in eV) by the following equation:

$$\text{TAF} = e^{\frac{E_a \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{ref}}} - \frac{1}{T_{\text{oven}}} \right)}{k}}$$

where

k is Boltzmann's constant ($k \approx 8,617 \times 10^{-5}\text{ eV/K}$), and the temperatures are given in K.

Published experimental results (see [6] and [7]) show that the activation energy E_a is decreasing over time, i.e. the acceleration factor becomes lower with the aging time. Furthermore, E_a varies between the different crystals and oscillators, depending on frequency, package size, resonator design and production processes. The observed values of E_a were between $> 0,1\text{ eV}$ and $< 1\text{ eV}$.

A common assumption is $\text{TAF} = 12$ for $T_{\text{oven}} = +85\text{ °C}$, i.e. 30 days (1 month) aging at 85 °C are considered to be equivalent to 365 days (12 months) aging at 25 °C , which corresponds to an activation energy E_a of $0,38\text{ eV}$.

With this value of E_a , the time acceleration factor for other aging temperatures can be calculated. Table 5 below shows the time acceleration factor TAF and the number of days N_d equivalent to 365 days at 25 °C .

Table 5 – Time acceleration factors for $E_a = 0,38$ eV

T_{oven} °C	TAF	N_d days
+25	1	365
+85	12	30
+105	23	16
+125	41	9
+150	79	5

Other time acceleration factors may be agreed between the manufacturer and the user based on their own reliability calculations.

4.9.2.3 Evaluation

The evaluation is as in 4.9.1.

4.9.3 Reference aging test

4.9.3.1 Purpose

This procedure is used for higher confidence level. This method should be used for high-precision crystals and as reference method in case of dispute.

4.9.3.2 Procedure

See Annex A.

4.9.3.3 Evaluation

The test data of the series resonance frequency f_s is subjected to the data fitting procedure.

The frequency measurement data $f_i(t)$ shall be fitted using the method of least squares of the following function (logarithmic fit):

$$\left[\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}} \right] = a_0 + a_1 \times \ln(a_2 \times t + 1)$$

where

$\Delta f(t)$ is the frequency difference of the crystal t days after the start of the aging cycle and the initial frequency f_{init} measured after the stabilization time t_{stab} (the time origin for measurements analysis shall be the beginning of the stabilization period).

The coefficients a_0 , a_1 and a_2 are constants to be determined from the least squares fit.

The default fitting algorithm is the logarithmic fit. In some cases, namely when the aging response has a very small curvature, the logarithmic fit may not yield reasonable results. In this case, the following polynomial fit is recommended to be calculated additionally:

$$\left[\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}} \right] = a_0 + a_1 \times t + a_2 \times t^{\frac{1}{2}} + a_3 \times t^{\frac{1}{3}}$$

This approach should only be used if the square root of the least square fit variance (SLQ) of the measurements from the polynomial fit is at least five times smaller than that of the logarithmic fit.

The total frequency change and the aging rate at the end of the specified aging period ($t = T_a$) shall be determined from the fitting equation using the constants determined from the least squares fit. The square root of the least squares fit variance of the measurements from the curve-fit function shall not exceed 5 % of the total aging change allowed during the test period.

For the logarithmic fitting (default), the aging rate (in ppm or ppb¹ per day) at $t = T_a$ is:

$$\left[\frac{d\left(\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}}\right)}{dt} \right]_{t=T_a} = \frac{a_1 \times a_2}{a_2 \times T_a + 1} \approx \frac{f(T_a + 1) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

If the polynomial fitting was used, the aging rate at $t = T_a$ ($T_a > 0$) is:

$$\left[\frac{d\left(\frac{\Delta f(t)}{f_{\text{init}}}\right)}{dt} \right]_{t=T_a} = a_1 + \frac{a_2}{2} \times T_a + \frac{a_3}{3} \times T_a^2$$

The projected total frequency change for a time period shall be calculated with the following formulas:

$$\text{Aging per month} \approx \frac{f(T_a + 30) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

$$\text{Aging per (1st) year} \approx \frac{f(T_a + 365) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

$$\text{Aging over } N \text{ years} \approx \frac{f(T_a + N \times 365) - f(T_a)}{f_{\text{init}}}$$

The resistance R_1 shall never exceed the specified maximum values.

4.9.4 Extended ageing

4.9.4.1 Purpose

The purpose is to evaluate the reliability and long-term performance.

¹ ppm = parts per million; ppb = parts per billion.

4.9.4.2 Procedure

This test shall be carried out in accordance with 4.9.1, except that the continuous periods shall be 1 000 h, 2 000 h or 8 000 h, as prescribed in the detail specification and shall be used for information purposes only.

The measurements shall be carried out at $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ or any other specified reference temperature in accordance with IEC 60444-5 or equivalent.

The measurement intervals can be extended to two weeks or longer. For the intermediate and the final measurement, the crystals can be removed from the oven, and stored at room temperature for 1 h. Thermal shocks should be avoided.

4.9.4.3 Evaluation

The difference between the highest and lowest frequency measurement shall not exceed the specified value (if applicable). The resistance R_1 shall never exceed the specified maximum values.

This test shall be used for information only. The crystal units used for these tests should not be supplied to any customer.

This test shall be used for information only. The crystal units used for these tests should not be supplied to any customer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60122-1:2002+AMD1:2017 CSV

Annex A (normative)

Procedure for the determination of the fitting parameters for the frequency aging

A.1 Assumption

A general description of frequency aging is possible in the form of:

$$\Delta f/f(t, T) = g(t) \times h(T)$$

where

$$g(t) = b_0 + b_1 \times \log(b_2 \times t + 1) \text{ (logarithmic fit);}$$

or

$$g(t) = c_0 + c_1 \times (t - t_0) + c_2 \times (t - t_0)^{1/2} + c_3 \times (t - t_0)^{1/3} \text{ (polynomial fit);}$$

and

$$h(T) = a_1 \times \exp(E_a \times (1/T_{\text{ref}} - 1/T)/k)$$

where

k is Boltzmann's constant ($k \approx 8,617 \times 10^{-5}$ eV/K), and the temperatures are given in K;
 T_{ref} is 298 K.

A.2 Determination of the fitting parameters b_0 , b_1 , b_2 (and/or c_0 , c_1 , c_2 , c_3) and a_1 , and E_a

The procedure of Table A.1 shall be applied.

Table A.1 – Procedure for the determination of the frequency aging parameters

Procedure	Conditions
Aging test procedure	Passive
Reflow solder test	2x ROHS-profile (IEC 61760-1:2006) ^a
Initial pre-aging (time and temperature)	48 h at >20 K above upper operating temperature, but $T <$ upper storage temperature
Sample size per lot (from one production lot)	$\geq 30^*$ depending on needed confidence level
Number of aging temperatures	3
Recommended aging temperatures	85 °C, 105 °C, 125 °C, 150 °C ^a depending on application, $T <$ specified upper storage temperature
Recommend temperature for measurement	(25 ± 2) °C, measurement > 1 h after removal from the temperature chamber. Avoid thermal shocks.
Recommended aging time	500 h, 1 000 h, 2 000 h ^a depending on needed confidence level
Test intervals (in "logarithmic" steps)	After 48 h stabilization: 24 h, 72 h, 250 h, 500 h, 750 h, 1 000 h (1 500 h, 2 000 h)
Algorithms to determine $g(t)$ and $h(T)$	Least square fitting ^b $g(t)$: log fit and polynomial fit Polynomial fit – only if sum of least squares SLQ < 5 times SLQ of logarithmic fit $h(T)$: least square fitting Result: E_a E_a may vary with time. Use E_a for $t \geq 500$ h
^a If not otherwise specified.	
^b For monotonic aging, all measurements shall be used for the curve fitting. If the aging trend is not monotonic, the measurement period shall be extended up to 40 days or longer after the extremum in the aging trend, and the measurements from 12 days after the extremum is reached at the end of the aging measurement period shall be fit to the above functions for $g(t)$.	

Bibliography

- [1] IEC 60068-2-58:1999, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Td: Solderability, resistance to dissolution of metallization and soldering heat of Surface Mounting Devices (SMD)*
- [2] IEC 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2: Tests methods – Test Fh: Vibration, broad-band random (digital control) and guidance*
- [3] IEC 60410:1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*
- [4] IEC QC 001002-1:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 1: Administration*
- [5] IEC Guide 102:1996, *Electronic components. Specification structures for quality assessment (Qualification approval and capability approval)*
- [6] Wang S-Y, Neubig B., Sato K., Hosoda T., Seydel E, Wu J-H, Ma T-F, Wang Ji, *Aging Models and Parameters of Quartz Crystal Resonators and Oscillators*; Proc. 2015 Symp on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications, p. 382-385
- [7] Shen, C-N, Yang X-W, Chang C, Chao M-C, *The Study of Activation Energy (Ea) by Aging and High Temperature Storage for Quartz Resonator's Life Evaluation*; Proc. 2010 Symp on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications, p. 118-122

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60122-1:2002+AMD1:2017 CSV

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	47
1 Généralités	49
1.1 Domaine d'application	49
1.2 Références normatives	49
1.3 Ordre de priorité	51
2 Terminologie et prescriptions générales	51
2.1 Généralités	51
2.2 Termes, définitions et classification des phénomènes	51
2.3 Valeurs et caractéristiques préférentielles	66
2.3.1 Gammes de températures en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) pour un fonctionnement à température ambiante	66
2.3.2 Gammes de températures élevées en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$) convenant pour un fonctionnement en enceinte	66
2.3.3 Tolérance de fréquence (1×10^{-6})	66
2.3.4 Conditions de fonctionnement	66
2.3.5 Niveaux d'excitation	66
2.3.6 Influence du niveau d'excitation	67
2.3.7 Catégorie climatique	67
2.3.8 Sévérité des secousses	67
2.3.9 Sévérité des vibrations	67
2.3.10 Sévérité des chocs	68
2.3.11 Taux de fuite	68
2.4 Marquage	68
3 Procédures d'assurance de la qualité	68
3.1 Etape initiale de fabrication	69
3.2 Modèles associables	69
3.3 Sous-traitance	69
3.4 Agrément du fabricant	69
3.5 Procédures d'agrément	69
3.5.1 Généralités	69
3.5.2 Agrément de savoir-faire	69
3.5.3 Homologation	70
3.6 Procédures pour l'agrément de savoir-faire	70
3.6.1 Généralités	70
3.6.2 Aptitude à l'agrément de savoir-faire	70
3.6.3 Demande d'agrément de savoir-faire	70
3.6.4 Obtention de l'agrément de savoir-faire	70
3.6.5 Manuel de savoir-faire	70
3.7 Procédures pour l'homologation	70
3.7.1 Généralités	70
3.7.2 Aptitude à l'agrément du fabricant	70
3.7.3 Demande d'homologation	70
3.7.4 Obtention de l'homologation	71
3.7.5 Contrôle de conformité de la qualité	71
3.8 Méthodes d'essai	71
3.9 Exigences de sélection	71

3.10	Travaux de retouche et de réparation	71
3.10.1	Retouche	71
3.10.2	Réparation	71
3.11	Rapports certifiés de lots acceptés	71
3.12	Validité de livraison	71
3.13	Acceptation pour livraison	71
3.14	Paramètres non destinés au contrôle	72
4	Procédures d'essai et de mesure	72
4.1	Généralités	72
4.2	Autres méthodes d'essai	72
4.3	Précision de mesure	72
4.4	Conditions normales d'essai	72
4.5	Inspection visuelle	73
4.5.1	Inspection visuelle, essai A	73
4.5.2	Inspection visuelle, essai B	73
4.5.3	Inspection visuelle, essai C	73
4.6	Inspection dimensionnelle et de mesure	73
4.6.1	Dimensions, essai A	73
4.6.2	Dimensions, essai B	73
4.7	Procédures d'essais électriques	73
4.7.1	Fréquence et résistance de résonance	73
4.7.2	Influence du niveau d'excitation	73
4.7.3	Fréquence et résistance de résonance en fonction de la température	74
4.7.4	Réponses indésirables	74
4.7.5	Capacité parallèle	74
4.7.6	Fréquence et résistance avec charge	75
4.7.7	Plage de décalage de fréquence (f_{L1} , f_{L2})	75
4.7.8	Paramètres dynamiques	75
4.7.9	Résistance d'isolement	75
4.8	Méthodes d'essai mécaniques et en environnement	75
4.8.1	Robustesse des sorties (destructif)	75
4.8.2	Essais d'étanchéité (non destructifs)	76
4.8.3	Brasage (brasabilité et résistance à la chaleur de brasage) (destructif)	78
4.8.4	Variation rapide de température par immersion en utilisant la méthode de deux bains (non destructif)	78
4.8.5	Variation rapide de température avec un temps de transition prescrit (non destructif)	78
4.8.6	Secousses (destructif)	78
4.8.7	Vibrations (destructif)	78
4.8.8	Chocs (destructif)	79
4.8.9	Chutes libres (destructif)	79
4.8.10	Accélération, constante (non destructif)	79
4.8.11	Chaleur sèche (non destructif)	79
4.8.12	Chaleur humide, essai cyclique (destructif)	79
4.8.13	Froid sec (non destructif)	79
4.8.14	Séquence climatique (destructif)	79
4.8.15	Chaleur humide, essai continu (destructif)	80
4.8.16	Tenue aux solvants de nettoyage (non destructif)	80

4.9 Méthodes d'essai d'endurance	80
4.9.1 Essai de vieillissement normalisé pour la vérification de la production	80
4.9.2 Vieillissement accéléré	81
4.9.3 Essai de vieillissement de référence	82
4.9.4 Vieillissement prolongé	83
Annexe A (normative) Procédure pour la détermination des paramètres d'ajustement pour le vieillissement en fréquence	85
Bibliographie	87
Figure 1 – Symbole et circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique près d'une résonance	53
Figure 2 – Impédance $ Z $, résistance R_e , réactance X_e et réactance de la branche série X_1 d'un résonateur piézoélectrique représentées en fonction de la fréquence	56
Figure 3 – Diagramme donnant l'impédance et l'admittance d'un résonateur piézoélectrique	57
Figure 4 – Fréquences de résonance, d'anti-résonance et de résonance avec capacité de charge	58
Figure 5 – Circuit électrique équivalent du résonateur piézoélectrique avec une capacité (de charge) C_L	65
Figure 6 – Outil de pliage des sorties	77
Tableau 1 – Liste des symboles utilisés pour le circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique	61
Tableau 2 – Solutions pour les différentes fréquences caractéristiques	63
Tableau 3 – Valeurs minimales pour le rapport Q^2/r qu'il faut attendre pour des types différents de résonateurs piézoélectriques	63
Tableau 4 – Relations approximatives entre les fréquences caractéristiques et la fréquence de résonance série f_s d'un résonateur piézoélectrique	64
Tableau 5 – Facteurs d'accélération temporelle pour $E_a = 0,38$ eV	81
Tableau A.1 – Procédure pour la détermination des paramètres de vieillissement en fréquence	86

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSONATEURS À QUARTZ SOUS ASSURANCE DE LA QUALITÉ –

Partie 1: Spécification générique

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(s) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 60122-1 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2002-08) [documents 49/551/FDIS et 49/558/RVD] et son amendement 1 (2017-02) [documents 49/1254/FDIS et 49/1259/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 60122-1 a été établie par le comité d'études 49 de l'IEC: Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Cette troisième édition constitue une révision technique.

L'IEC 60122-1 est la première partie de la nouvelle édition de la série IEC 60122 pour les résonateurs à quartz sous assurance de la qualité.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 3.

L'IEC 60122 comprend les parties suivantes présentées sous le titre général: Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité:

- Partie 1: Spécification générique (IEC 60122-1);
- Partie 2: Guide pour l'emploi des résonateurs à quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence (IEC 60122-2 à présent);
- Partie 3: Encombrements normalisés et connexions des sorties (IEC 60122-3);
- Partie 4: Spécification intermédiaire – Agrément de savoir-faire (IEC 61178-2 à présent);
- Partie 4-1: Spécification particulière cadre – Agrément de savoir-faire (IEC 61178-2-1 à présent);
- Partie 5: Spécification intermédiaire – Homologation (IEC 61178-3 à présent);
- Partie 5-1: Spécification particulière cadre – Homologation (IEC 61178-3-1 à présent)

Le numéro QC qui figure sur la page de couverture de la présente publication est le numéro de spécification dans le Système IEC d'Assurance de la Qualité des Composants Electroniques (IECQ).

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

RÉSONATEURS À QUARTZ SOUS ASSURANCE DE LA QUALITÉ –

Partie 1: Spécification générique

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60122 spécifie les méthodes d'essai et les exigences générales pour les résonateurs à quartz dont la qualité est garantie par les procédures d'agrément de savoir-faire ou par les procédures d'homologation.

1.2 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).

IEC 60027 (toutes les parties), *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

IEC 60050(561):1991, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 561: Dispositifs piézoélectriques pour la stabilisation des fréquences et le filtrage*

IEC 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*

IEC 60068-2-1:1990, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais A: Froid*

IEC 60068-2-2:1974, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-3:1969, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ca: Essai continu de chaleur humide*

IEC 60068-2-6:1995, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-7:1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ga: Accélération constante*

IEC 60068-2-13:1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais. Essai M: Basse pression atmosphérique*

IEC 60068-2-14:1984, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai N: Variations de température*

IEC 60068-2-17:1994, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2: Essais – Essai Q: Etanchéité*

IEC 60068-2-20:1979, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai T: Soudure*

IEC 60068-2-21:1999, *Essais d'environnement – Partie 2-21: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*

IEC 60068-2-27:1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-29:1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Eb et guide: Secousses*

IEC 60068-2-30:1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Db et guide: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 heures)*

IEC 60068-2-32:1975, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ed: Chute libre (méthode 1)*

IEC 60068-2-45:1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai XA et guide: Immersion dans les solvants de nettoyage*

IEC 60122-3:2001, *Résonateurs à quartz sous assurance de la qualité – Partie 3: Encombrements normalisés et connexions des sorties*

IEC 60444-1:1986, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π – Première partie: 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 π*

IEC 60444-2:1980, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π – Deuxième partie: Méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz*

IEC 60444-4:1988, *Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π – 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*

IEC 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*

IEC 60444-6:1995, *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz – Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)*

IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas*

IEC 61178-2:1993, *Résonateurs à quartz – Spécification dans le Système IEC d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ) – Partie 2: Spécification intermédiaire – Agrément de savoir-faire*

IEC 61178-3:1993, *Résonateurs à quartz – Spécification dans le Système IEC d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ) – Partie 3: Spécification intermédiaire – Homologation*

IEC 61760-1:2006, *Technique du montage en surface – Partie 1: Méthode de normalisation pour la spécification des composants montés en surface (CMS)*

IEC QC 001001:2000, *Système IEC d'Assurance de la Qualité des Composants Electroniques (IECQ) – Règles fondamentales*

IEC QC 001002-2:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 2: Documentation* (publiée en anglais uniquement)

IEC QC 001002-3:1998, *IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Rules of procedure – Part 3: Approval Procedures* (publiée en anglais uniquement)

IEC QC 001005:2000, *Register of firms, products and services approved under the IECQ System, including ISO 9000* (publiée en anglais uniquement)

ISO 1000,1992, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités*

1.3 Ordre de priorité

En cas de divergence pour quelque raison que ce soit, les documents doivent être classés dans l'ordre de priorité suivant:

- spécification particulière;
- spécification intermédiaire;
- spécification générique;
- tout autre document international (par exemple de l'IEC) auquel on fait référence.

Le même ordre de priorité s'applique aux documents nationaux équivalents.

2 Terminologie et prescriptions générales

2.1 Généralités

Les unités, symboles graphiques, symboles littéraux et terminologie doivent, autant que possible, être issus des normes suivantes: IEC 60027, IEC 60050(561), IEC 60617, ISO 1000.

2.2 Termes, définitions et classification des phénomènes

Les paragraphes suivants contiennent la terminologie additionnelle applicable aux résonateurs à quartz et décrivent certains phénomènes dans ce contexte.

2.2.1

cristal (lame)

matière piézoélectrique taillée selon une forme géométrique, des dimensions et une orientation donnée par rapport aux axes cristallographiques du cristal

2.2.2

électrode

plaque ou film électriquement conducteur en contact avec, ou à proximité d'un cristal, permettant d'appliquer à ce cristal un champ électrique

2.2.3

lame vibrante de quartz

élément de quartz monté qui vibre lorsqu'un champ électrique alternatif existe entre les électrodes

2.2.4

montage

moyens par lesquels le résonateur à quartz est monté dans son enveloppe

2.2.5**enveloppe**

enveloppe protégeant le ou les résonateurs à quartz et leur monture

2.2.6**type d'enveloppe**

enveloppe de résonateur de dimension et de matériau définis avec une méthode de fermeture définie

2.2.7**résonateur à quartz**

lame vibrante montée dans une enveloppe fermée

2.2.8**support de quartz**

composant dans lequel le résonateur à quartz est enfiché et qui assure sa fixation et ses connexions électriques

2.2.9**mode de vibration**

configuration du mouvement des particules élémentaires dans un corps vibrant, résultant des contraintes appliquées à ce corps, de la fréquence de l'oscillation et des conditions aux limites. Les modes de vibration les plus courants sont:

- mode de flexion;
- mode d'extension;
- mode de cisaillement plan;
- mode de cisaillement d'épaisseur.

2.2.10**résonateur à quartz sur le mode fondamental**

résonateur à quartz dans lequel le résonateur est conçu pour fonctionner à la plus basse fréquence d'un mode de vibration donné

2.2.11**résonateur à quartz sur le mode partiel**

résonateur à quartz dans lequel le résonateur est conçu pour fonctionner sur un ordre plus haut que le fondamental du mode de vibration donné

2.2.12**ordre d'un partiel**

rang des partiels successifs d'un mode de vibration donné dans l'ordre des fréquences croissantes en commençant par un pour le mode fondamental. Pour le mode de cisaillement et le mode d'extension, l'ordre d'un partiel est égal au quotient de la fréquence du partiel par la fréquence fondamentale, arrondi à l'entier le plus voisin

2.2.13**circuit équivalent d'un résonateur à quartz**

circuit électrique qui a la même impédance que le résonateur à quartz dans la zone des fréquences de résonance et d'anti-résonance désirées. Il est représenté par une inductance, capacité et résistance en série, cette branche série étant shuntée par une capacité entre les sorties du résonateur. Les paramètres de la branche série, constituée par l'inductance, la capacité et la résistance sont exprimés respectivement par L_1 , C_1 et R_1 . Ils sont appelés «paramètres dynamiques» du résonateur à quartz. La capacité parallèle du shunt est appelée C_0 (voir la figure 1).

Ces paramètres sont indépendants de la fréquence pour les modes de vibration isolés. En général, le mode en question est suffisamment isolé pour permettre cette hypothèse. Lorsque

ce n'est le cas, les équations et les méthodes de mesure décrites ici ne s'appliquent pas. Pour l'identification des symboles utilisés dans cette norme, voir le tableau 1.

NOTE 1 Le circuit équivalent ne représente pas toutes les caractéristiques du résonateur à quartz.

NOTE 2 Les valeurs R_e , X_e , G_p et B_p varient rapidement autour de la fréquence de résonance, où:

R_e est la résistance série du circuit équivalent du résonateur;

X_e est la réactance série du circuit équivalent du résonateur;

G_p est la conductance parallèle du circuit équivalent du résonateur;

B_p est la susceptance parallèle du circuit équivalent du résonateur;

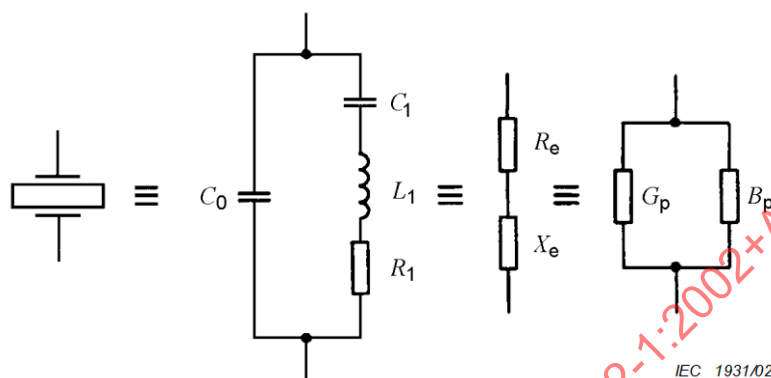


Figure 1 – Symbole et circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique près d'une résonance

2.2.14

résistance dynamique (R_1)

résistance dans la branche dynamique (série) du circuit équivalent

2.2.15

inductance dynamique (L_1)

inductance dans la branche dynamique (série) du circuit équivalent

2.2.16

capacité dynamique (C_1)

capacité dans la branche dynamique (série) du circuit équivalent

2.2.17

capacité statique (C_0)

capacité parallèle avec la branche dynamique du circuit équivalent

2.2.18

paramètres des résonateurs piézoélectriques

les paramètres fondamentaux C_1 , L_1 , R_1 et C_0 définissent le circuit électrique équivalent montré à la figure 1, et on peut à partir d'eux en déduire tous les autres paramètres. Pour une fréquence donnée, les paramètres du circuit électrique équivalent s'approchent généralement de valeurs constantes lorsque l'amplitude de la vibration tend vers zéro. L'amplitude que l'on peut tolérer avant que les paramètres ne soient sensiblement affectés, varie dans de grandes proportions pour des résonateurs de types différents et ne peut être déterminée que par l'expérience.

L'équation suivante qui donne l'impédance Z ou l'admittance Y :

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{j}{\omega C_0} \times \frac{\Omega - j\delta}{1 - \Omega + j\delta} \quad (1)$$