

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Surface acoustic wave (SAW) resonators –
Part 2: Guide to the use**

**Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) –
Partie 2: Guide d'emploi**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2005 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
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 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.

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: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 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.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Surface acoustic wave (SAW) resonators –
Part 2: Guide to the use**

**Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) –
Partie 2: Guide d'emploi**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-1340-7

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Technical considerations	6
4 Fundamentals of SAW resonators.....	7
4.1 Basic structure	7
4.2 Principle of operation	7
5 SAW resonator characteristics.....	8
5.1 Reflector characteristics	8
5.2 SAW resonator characteristics.....	10
5.3 Spurious modes	14
5.4 Substrate materials and their characteristics	15
5.5 Available characteristics	17
6 Application guide	19
6.1 Oscillator circuits and oscillation condition	19
6.2 Practical remarks for oscillator applications	21
7 Checklist of SAW resonator parameters for drawing up specifications	22
Bibliography.....	25

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SURFACE ACOUSTIC WAVE (SAW) RESONATORS –**Part 2: Guide to the use**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61019-2 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1995. This edition constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- at the end of 5.1, the edge reflector has been added. Its reference literature has been inserted in the bibliography;
- in Table 1, the propagation properties of LiNbO_3 (64°Y) have been added;
- in Table 3, the clause and subclause numbers have been corrected in order to be consistent with IEC 61019-1 (2004) which has replaced IEC 61019-1-1 (1990) and IEC 61019-1-2 (1993).

This bilingual version (2014-02) corresponds to the monolingual English version, published in 2005-05.

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

FDIS	Report on voting
49/714/FDIS	49/723/RVD

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

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

IEC 61019 consists of the following parts, under the general title *Surface acoustic wave (SAW) resonators*

Part 1: Generic information

Part 2: Guide to the use

Part 3: Standard outlines and lead connections

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005

INTRODUCTION

This part of IEC 61019 gives practical guidance to the use of SAW resonators which are used in telecommunications, radio equipments and consumer products. IEC 61019-1 can be referred to for general information, standard values and test conditions.

The features of these SAW resonators are small size, light weight, adjustment-free and high stability. In addition, the operating frequency of SAW resonators extends to the VHF and UHF ranges.

This part has been compiled in response to a generally expressed desire on the part of both users and manufacturers for a guide to the use of SAW resonators, so that the resonators may be used to their best advantage. To this end, general and fundamental characteristics have been explained in this guide.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005

SURFACE ACOUSTIC WAVE (SAW) RESONATORS –

Part 2: Guide to the use

1 Scope

SAW resonators are now widely used in a variety of applications: VCR RF-converters, CATV local oscillators, measuring equipment, remote control and so on. While SAW resonators are also applied to narrow bandwidth filters, the scope of this part of IEC 61019 is limited to SAW resonators for oscillator applications

It is not the aim of this guide to explain theory, nor to attempt to cover all the eventualities which may arise in practical circumstances. This guide draws attention to some of the more fundamental questions, which should be considered by the user before he places an order for a SAW resonator for a new application. Such a procedure will be the user's insurance against unsatisfactory performance.

Standard specifications, such as those of the IEC of which this guide forms a part, and national specifications or detail specifications issued by manufacturers, will define the available combinations of resonance frequency, quality factor, motional resistance, parallel capacitance, etc. These specifications are compiled to include a wide range of SAW resonators with standardized performances. It cannot be over-emphasized that the user should, wherever possible, select his SAW resonators from these specifications, when available, even if it may lead to making small modifications to his circuit to enable the use of standard resonators. This applies particularly to the selection of the nominal frequency.

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 61019-1:2004, *Surface acoustic wave (SAW) resonators – Part 1: Generic specification*

IEC 61019-3:1991, *Surface acoustic wave (SAW) resonators – Part 3: Standard outlines and lead connections*

3 Technical considerations

It is of prime interest to a user that the resonator characteristics should satisfy particular specifications. The selection of oscillating circuits and SAW resonators to meet such specifications should be a matter of agreement between user and manufacturer.

Resonator characteristics are usually expressed in terms of resonance frequency, motional resistance, quality factor and parallel capacitance (for the one-port type) and centre frequency, insertion attenuation, loaded and unloaded quality factor, input capacitance and output capacitance (for the two-port type). A standard method for measuring resonator characteristics is described in 8.5 and 8.6 of IEC 61019-1. The specifications are to be satisfied between the lowest and highest temperatures of the specified operating temperature range and before and after environmental tests.

4 Fundamentals of SAW resonators

4.1 Basic structure

SAW resonators consist of interdigital transducers (IDT) and of grating reflectors, which are placed on the surface of a piezoelectric substrate. In most cases, the grating reflectors are made of thin metal (such as Al, Au) film while, in some cases, they are constructed with periodic grooves. The die is bonded by an adhesive agent into a sealed enclosure, and the IDT is electrically connected to the terminals with bonding wires. There are two SAW resonator configurations. One is a one-port SAW resonator. The other is a two-port SAW resonator. The former has a single IDT between two reflectors, as shown in Figure 1. The latter has two IDTs between two reflectors, as shown in Figure 2. In the figures, ℓ_{eff} is the resonator cavity length, as described in 5.2 c).

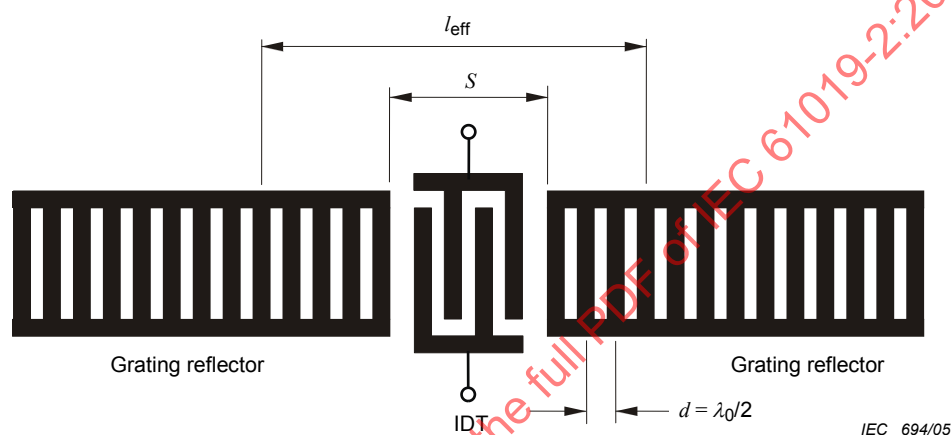


Figure 1 – One-port SAW resonator configuration

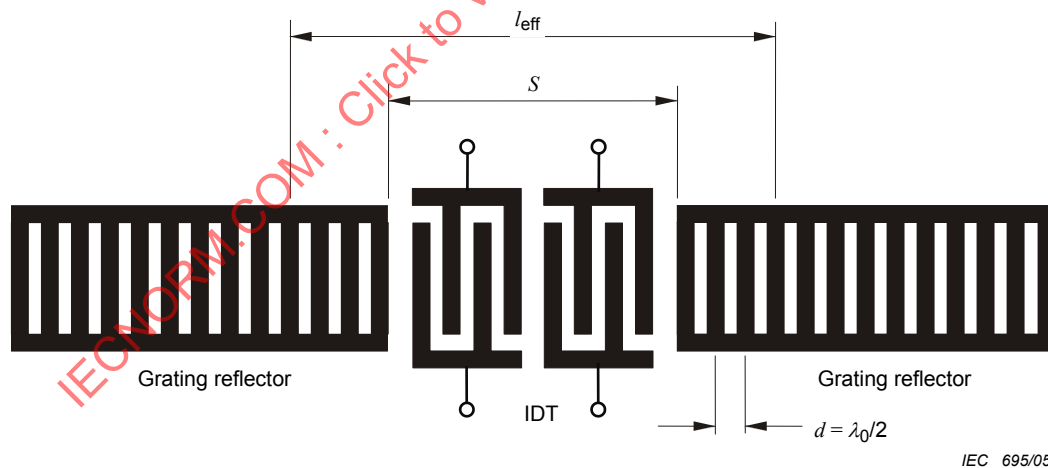


Figure 2 – Two-port SAW resonator configuration

4.2 Principle of operation

The resonance phenomenon for SAW resonators is achieved by confining the SAW vibration energy within grating reflectors. The SAW, excited by an alternating electrical field between IDT electrode fingers, propagates outside the IDT to be reflected by grating reflectors.

The grating reflectors feed the perturbation to the SAW, owing to the discontinuity in electrical or mechanical impedance. When the SAW is incident on such grating reflectors, the incident wave is gradually converted into a reflected wave. Although the amount of perturbation per unit reflective element may be very small, a large number of such elements, arranged periodically, reflect the SAW in phase, and maximize coherent reflection.

These grating configurations can form effective reflecting boundary, creating a standing wave between the reflectors and make resonance with a very high Q . Figure 3 shows the displacement distribution for this standing wave for a one-port SAW resonator. As shown in the figure, the SAW energy is maximum near the centre of the IDT, and gradually decays towards the edges of the grating reflectors. The resonance frequency, f_r , is approximately determined by

$$f_r \approx v_s / (2d) = v_s / \lambda_0$$

where

v_s is the SAW propagation velocity;

d is the distance between electrode centres;

λ_0 is the SAW wavelength at the stop band centre frequency.

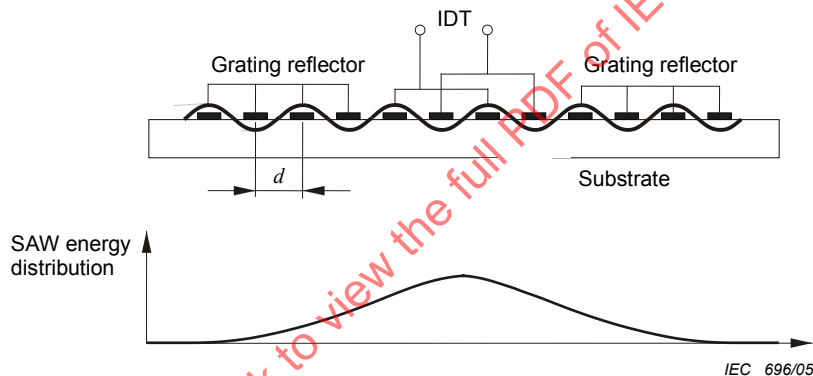


Figure 3 – Standing wave pattern and SAW energy distribution

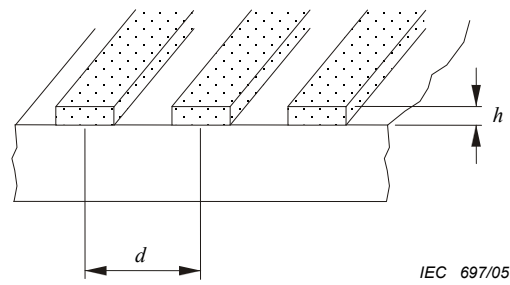
5 SAW resonator characteristics

5.1 Reflector characteristics

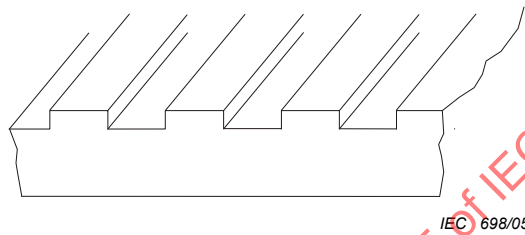
The reflector for SAW resonators consists of a periodically arranged array of reflective elements, called a grating reflector. As cross-sections show in Figure 4, possible array elements are:

- a) metal strips or dielectric ridges;
- b) grooves;
- c) ion-implanted or metal-diffused strips.

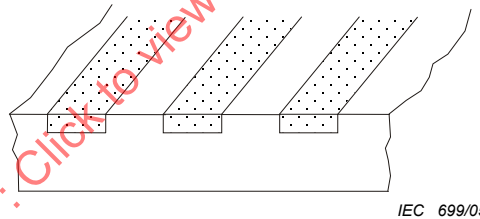
For example, an aluminum strip on ST-cut quartz, whose thickness h is 1 % of wave length $\lambda(h/\lambda_0)$ and whose width w is half the spatial period ($w = d/2 = \lambda_0/4$), has a small reflection coefficient ε of approximately 0,5 %. A groove with 1 % depth has almost the same ε . This periodic perturbation causes efficient reflection of SAW energy, if its wavelength equals twice its periodicity.



IEC 697/05

4a – Metal strips or dielectric ridges

IEC 698/05

4b – Grooves

IEC 699/05

4c – Ion-implanted or metal diffused strips**Figure 4 – Grating reflector configurations**

A grating reflector without loss with a finite number of array elements has a frequency range of nearly total reflection called the stop band. The fractional stop bandwidth to centre frequency is $2\varepsilon/\pi$, where ε is the reflection coefficient for one element. Figure 5 indicates the frequency dependency on the total reflectivity $|\Gamma|$ for the grating reflector with a finite number N_R of array elements. Theoretically, the reflectivity maximum value is derived as:

$$|\Gamma|_{\max} = \tanh(N_R \times \varepsilon)$$

at the centre frequency f_0 of the stop band. A greater reflectivity makes SAW resonator Q value higher, due to decreasing the leakage of SAW energy stored in the cavity between two grating reflectors.

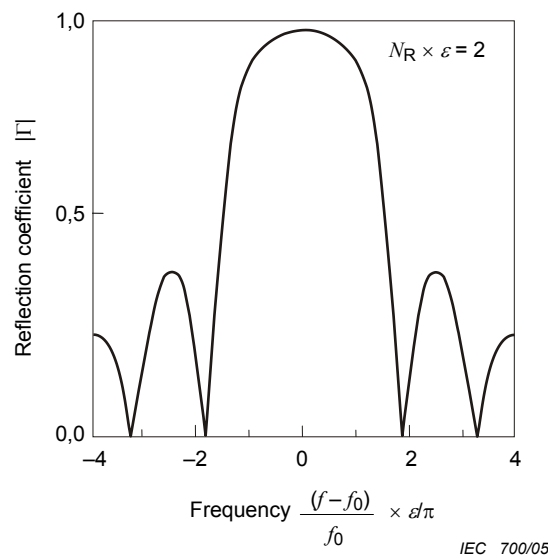


Figure 5 – Reflectivity response for grating reflection

For obtaining a greater reflectivity, it is clear, from the preceding equation, that $N_R \times \varepsilon$ should be larger. Increasing reflector element number N_R is the easiest way to obtain a higher reflectivity. However, in practice, a greater element number, i.e. longer reflector size, requires a larger SAW chip size and means an expensive SAW resonator. Generally, $N_R \times \varepsilon = 4$ is adequate for practical SAW resonators.

For obtaining greater reflectivity, increasing the reflection from one element is also effective. To accomplish this, strips should be thicker or grooves should be deeper. For the most part, ε is proportional to the thickness or the depth h/λ_0 . Thicker strips or deeper grooves require less element number N_R for the same reflection coefficient and realize greater stop bandwidth. However, a reflector with a large h/λ_0 has the following disadvantages:

- the mode conversion loss from SAW to bulk wave tends to increase, which may degrade the quality factor;
- stopband centre frequency deviation from the frequency $v_s/(2d)$ increases, because the centre frequency is a function of the square of h/λ_0 . This may cause mass production difficulties.

For a substrate material supporting shear wave, reflection at the edge of a substrate can be utilized as a substitute for a grating reflector. This gives the advantage of size reduction corresponding to the size of array elements.

5.2 SAW resonator characteristics

a) One-port SAW resonators

A one-port SAW resonator has the transmission characteristics shown in Figure 6.

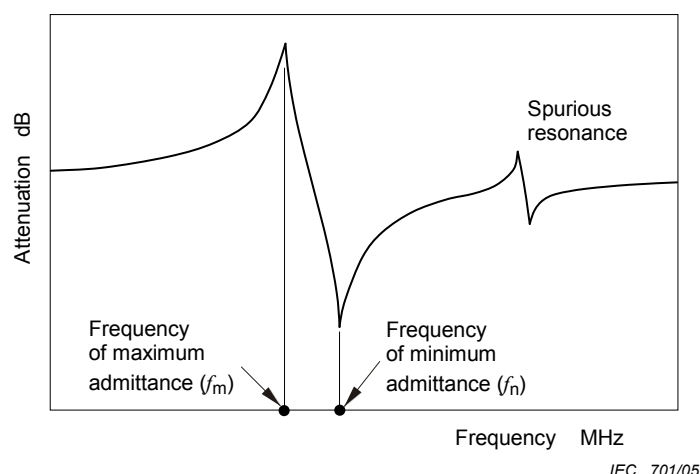
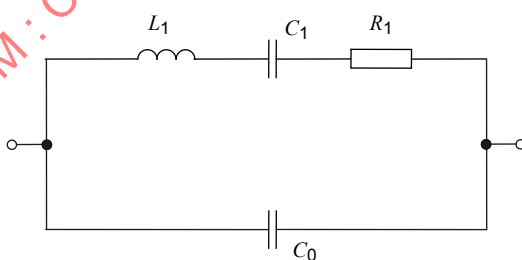


Figure 6 – Typical frequency characteristics for a one-port SAW resonator, inserted into a transmission line in series

The equivalent circuit in Figure 7 represents this one-port SAW resonator resonance. Comparing SAW resonators made from different piezoelectric materials, the figure of merit $M = Q/r$ derived from the equivalent circuit can be used. For example, SAW resonators on a quartz substrate have a high Q factor and a large r , while the values on X-cut LiTaO₃ are both smaller. Both resonators have similar figure of merit values. Considering only Q or the capacitance ratio r is insufficient for comparison purposes.

The equivalent circuit in Figure 7 can be replaced by a reactance with a series resistance: $R_e(f) + jX_e(f)$, where X_e and R_e are an equivalent series reactance and an equivalent series resistance, respectively. The frequency dependencies for these values are shown in Figure 8, where the value X_e/R_e reaches the maximum at the arithmetic mean of resonance and anti-resonance frequencies of zero susceptance.



$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \times C_1}} \quad \text{is the motional (series) resonance frequency;}$$

$$Q = 2\pi f_s \times L_1 / R_1 \quad \text{is the quality factor;}$$

$$r = C_0 / C_1 \quad \text{is the capacitance ratio;}$$

$$M = Q/r \quad \text{is the figure of merit;}$$

$$L_1, C_1, R_1 \quad \text{are the motional inductance, motional capacitance and motional resistance respectively;}$$

$$C_0 \quad \text{is the static capacitance.}$$

Figure 7 – Equivalent circuit for a one-port resonator

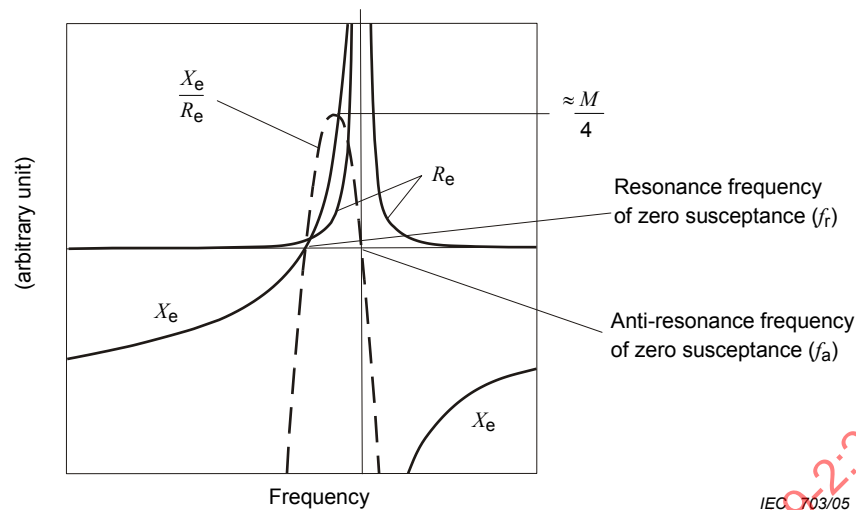


Figure 8 – Frequency response for series equivalent resistance (R_e), reactance (X_e) and X_e/R_e

The maximum value can be derived from the equivalent circuit as:

$$(X_e/R_e)_{\max} \approx (Q/r)/4$$

In order to achieve oscillation more easily, resonators should show high Q reactance. Consequently, the figure of merit is adequate to compare SAW resonators.

Resonator impedance is inversely proportional to the aperture design. However, an over-narrow aperture resonator tends to increase r , due to the stray capacitance, and to degrade Q , due to the diffraction loss. On the other hand, an over-wide aperture resonator has a relatively low Q , due to electrode resistance.

b) *Two-port SAW resonators*

Two-port resonator transmission characteristics are shown in Figure 9.

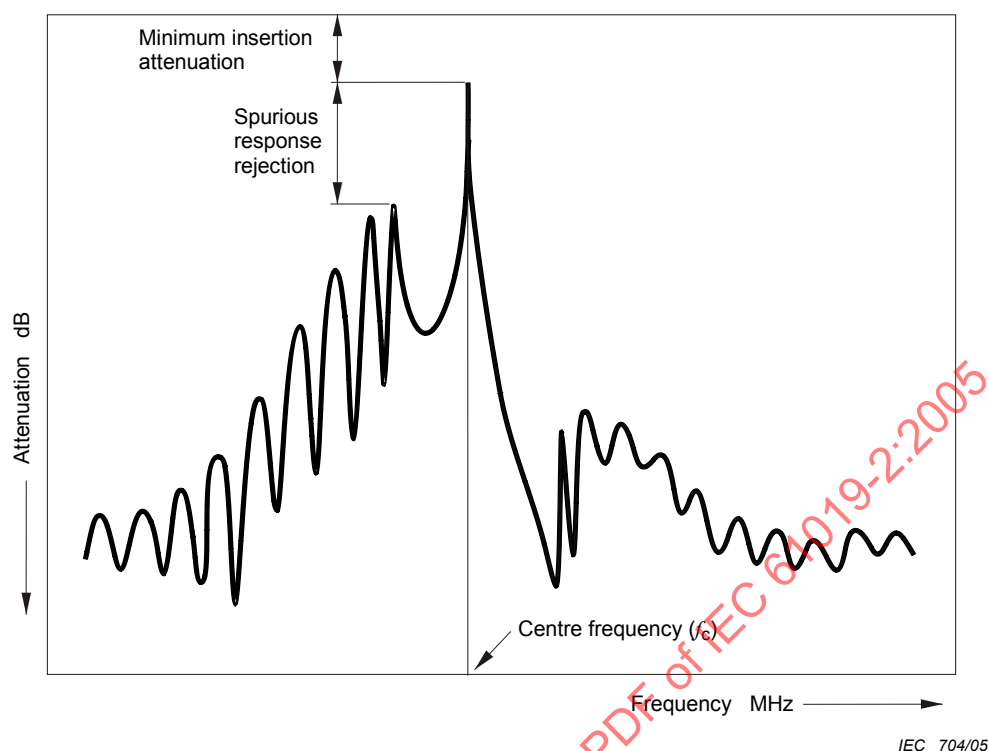
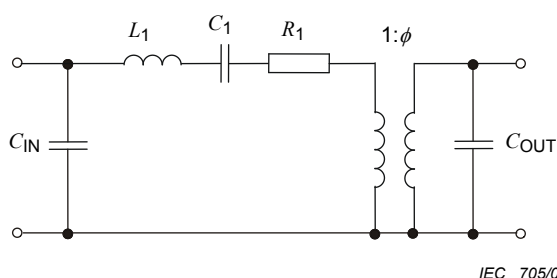


Figure 9 – Insertion attenuation and spurious response characteristics for a two-port resonator

An equivalent circuit for a two-port SAW resonator, in the vicinity of the centre frequency, is shown in Figure 10. It is constructed with a motional arm with motional inductance (L_1), capacitance (C_1), and resistance (R_1) in series, two parallel capacitances (C_{IN} and C_{OUT}) shunting the input and output ports and an ideal transformer. The turns ratio ϕ for the ideal transformer is derived from the input and output transducer structures. When both structures are the same, the ϕ value is unity; a 0° phase shift type is expressed as $\phi = 1$ and a 180° type is expressed as $\phi = -1$. Two-port SAW resonators, with different input and output impedances, have a $|\phi|$ value, which is not equal to unity.



Key

L_1	motional inductance	C_{IN}	input capacitance
C_1	motional capacitance	C_{OUT}	output capacitance
R_1	motional resistance	ϕ	turns ratio

Figure 10 – Equivalent circuit for a two-port resonator

For two-port resonators, there is no evident index as figure of merit as for one-port resonators. Easy-to-oscillate resonators are devices with low loss in the specific circuit and with the appropriate phase transition of 0° or 180° . Small motional resistance R_1 is essential for low loss. A lower impedance resonator (larger C_{IN} and C_{OUT}) has lower loss, in most cases.

c) *Equivalent circuit parameters*

Equivalent circuit parameters for a one-port SAW resonator can be represented as follows, when SAW reflection at IDT fingers is neglected:

$$L_1 = \frac{l_{\text{eff}}/\lambda_0}{4f_0|\Gamma|} \times R_a$$

$$R_1 = \frac{1-|\Gamma|}{2|\Gamma|} \times R_a$$

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_1}$$

$$C_0 = N \times w(1 + \varepsilon_r) \times \varepsilon_0$$

where

$R_a = \frac{1}{8k_s^2 f_0 N C_0}$ is the IDT radiation resistance at f_0 ;

$f_0 = v_s/(2d)$;

N is the IDT finger pair number;

w is the aperture;

k_s^2 is the SAW coupling coefficient;

ε_r is the relative permittivity of a piezoelectric substrate;

ε_0 is the permittivity of vacuum;

Γ is the reflection coefficient of a reflector;

λ_0 is the SAW wavelength at the centre frequency;

l_{eff} is the resonator cavity length shown in Figures 1 and 2 ($l_{\text{eff}} \approx S + \lambda_0/(2\varepsilon)$), where S is a separation of grating reflectors.

For two-port SAW resonators, C_0 shall be replaced by C_{IN} or C_{OUT} respectively. Other equations are the same as the above equations.

5.3 Spurious modes

SAW resonators have many kinds of spurious modes. One is higher-order SAW resonance modes, called longitudinal and transverse modes. Other types of SAW modes, such as leaky SAW, SSBW, Love waves, may be excited by the IDT. Another mode is bulk wave modes. Figures 6 and 9 show the typical spurious characteristics for one-port and two-port resonators, respectively. These spurious modes can be reduced by applying several techniques to the resonators.

When used in an oscillator circuit, these spurious modes rarely cause problems. However, should there be spurious responses near the main mode or responses with relatively large amplitude, oscillation problems at those spurious frequencies could occur.

These spurious responses could result in anomalous frequency-temperature, resistance-temperature and frequency pulling characteristics. Even very small perturbations of this type can have very deleterious effects for VCO (voltage controlled oscillator) applications. It is more difficult to eliminate these spurious responses from the resonators. However, these resonators seldom give trouble, because the spurious resonance resistance is in general larger than that for the main mode. Manufacturers' standard products involve design measures which minimize these effects when coupled with reasonable oscillator design.

In any application, where there are spurious responses, it should be considered that there is a possibility of the oscillator starting at the spurious responses. In a frequency range around the main response, one of the following ratios can be specified:

$\frac{\text{spurious resonance motional resistance}}{\text{main resonance motional resistance}}$ for a one-port resonator

$\frac{\text{spurious resonance response level}}{\text{main resonance response level}}$ for a two-port resonator

For two-port resonators, only spurious resonances which fulfil the phase condition of the oscillator feedback loop have to be considered.

5.4 Substrate materials and their characteristics

Various kinds of piezoelectric substrates are available for use in SAW resonators. Piezoelectric substrates for SAW resonators are selected, in consideration of the following items:

- 1) propagation velocity (v_s);
- 2) coupling coefficient (k_s^2);
- 3) temperature coefficient of frequency (TCF);
- 4) relative permittivity (ϵ_r);
- 5) material propagation loss;
- 6) reproducibility and reliability;
- 7) price.

Items 1) to 5) are constants concerned mainly with materials. Items 6) and 7) are conditions depending on both materials and substrate fabrication techniques. Several kinds of substrates have been developed and put into practical use.

Ideally, a high coupling coefficient and a zero temperature coefficient are desired. At present, this is not possible. Thus, a design trade-off is required. It is necessary to select a substrate according to the required specifications. Relationships between material constants and resonator characteristics are described below.

a) Propagation velocity

The propagation velocity v_s (m/s) is an important factor, which determines the frequency range. Resonance frequency f_r (MHz) is given approximately by:

$$f_r = v_s / (2d)$$

where d (μm) is the spatial period of the grating. For a specified resonance frequency, slower velocities require a shorter finger period and, consequently, a smaller chip size. Faster velocity is desirable for high frequency resonators, in order to make the IDT fabrication easier. Propagation velocity for a practical substrate is usually in the 2 000 m/s to 5 000 m/s range.

b) Coupling coefficient

SAW coupling coefficient k_s^2 is the transformation ratio between the electric energy and the mechanical (SAW) energy. The coupling coefficient is the principal factor that determines capacitance ratio r . When the coupling coefficient of the substrate is large enough, it is easy to design a low capacitance ratio SAW resonator. An achievable minimum capacitance ratio is represented as:

$$r_{\min} \approx \pi^2 / (8k_s^2)$$

c) *Temperature coefficient*

This characteristic is determined mainly by the piezoelectric material and crystal orientations. Rotated Y-cut (around ST-cut) quartz and $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ materials have parabolic frequency-temperature characteristics, but with other piezoelectric materials they are nearly linear. Figure 11 shows frequency-temperature characteristics for various common substrate materials.

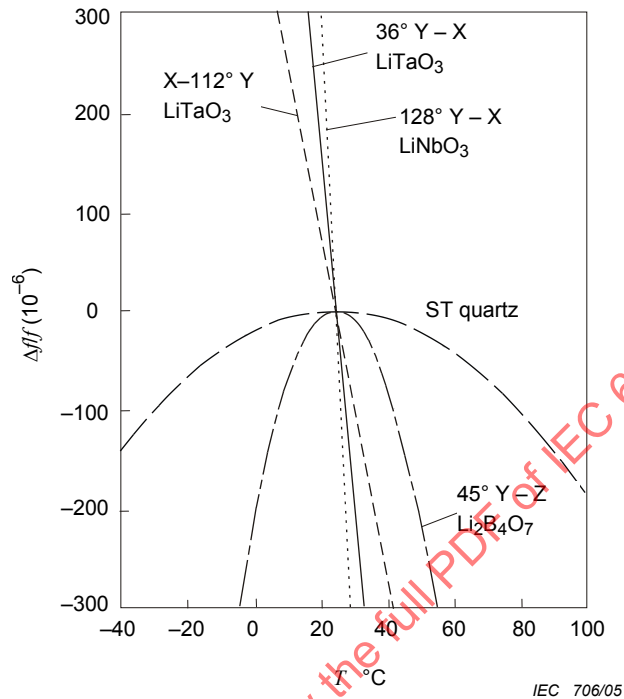


Figure 11 – Frequency-temperature characteristics for various common materials and their angles of cut

Typically the frequency-temperature dependence is:

$$\frac{\Delta f}{f} = a \times (T - T_0) + b \times (T - T_0)^2$$

where

$\frac{\Delta f}{f}$ is the fractional frequency change;

T_0 is the turnover temperature;

T is the operating temperature;

a is the first order temperature coefficient;

b is the second order temperature coefficient.

Typical temperature coefficient values are listed in Table 1.

d) *Relative permittivity*

The piezoelectric material permittivity is a second-order symmetric tensor. The static capacitance for the IDT, C_0 , directly depends on the substrate permittivity.

e) *Material propagation loss*

The quality factor for the SAW resonator is a function of its various losses. The Q value depends on: material propagation loss (viscous damping and air loading), surface propagation loss (imperfect surface finish), bulk mode conversion loss, diffraction and other leakage losses from sides of reflectors and ohmic and frictional losses of electrodes. The material propagation loss determines the maximum Q limit, which is called material quality factor Q_m .

f) *Typical single-crystal materials*

Properties of single-crystal substrates are governed by the angle of cut and the SAW propagation direction, because of the crystal anisotropy. Single crystals have advantages concerning reproducibility, reliability, and low propagation loss.

However, it is still difficult to obtain a material which satisfies both large coupling coefficient and small temperature coefficient, simultaneously.

Typical crystals and their angles of cut recommended for SAW resonators are listed in Table 1 with their material constants.

Table 1 – Properties of single-crystal substrate materials

Material	Angle of cut	Propagation direction	Velocity V_s	Coupling coefficient k_s^2	Temperature coefficient		Relative permittivity ϵ_r
					a	b	
	Degrees	Degrees	m/s	%	$10^{-6}/K$	$10^{-9}/K^2$	
ST-quartz	42,75° Y	X	3 157	0,16	0	–34	4,5
LST-quartz	–75° Y	X	3 960	0,11	0	3 rd order	4,5
LiNbO ₃	Y	Z	3 488	4,82	–94	–	36,7
LiNbO ₃	128° Y	X	4 000	5,56	–74	–	39,1
LiNbO ₃	64° Y	X	4 742	11,3	–79	–	58,4
LiTaO ₃	X	112° Y	3 295	0,64	–18	–	44,0
LiTaO ₃	36° Y	X	4 178	4,8	–33	–	51,1
Li ₂ B ₄ O ₇	45° Y	Z	3 401	1	0	–270	9,6

5.5 Available characteristics

a) *Frequency range*

The upper-limit frequency for SAW resonators is determined by fine pattern fabrication pitch is d (μm), the frequency is $v_s/(2d)$ (MHz), where v_s (m/s) means SAW velocity. The lower-limit frequency depends on chip size restriction. Available substrate wafer size and package dimensions are finite. In practice, demanded resonator cost also confines the allowable chip size. The typical frequency range for SAW resonators is from approximately 60 MHz to several GHz. However, this limitation is never strict.

b) *Quality factor*

The maximum possible quality factor for ideally designed and processed SAW resonator is limited to Q_m described in 5.4 e). Q_m depends on frequency and is approximately expressed as $Q_m = 10^7/f$ for typical substrate materials, where f is the frequency in megahertz. SAW resonators are reported to achieve Q_m at several frequencies. However, mass-produced SAW resonators using ST-cut quartz typically exhibit to have $Q = 15\ 000 \sim 20\ 000$ at 100 MHz and $Q = 10\ 000$ at 600 MHz.

c) *Temperature coefficient of frequency*

Temperature-frequency characteristics of resonance frequency for SAW resonators are closely connected with the substrate material. However, mechanical stress to the substrate (such as adhesive agent), IDT and grating reflectors slightly affect the temperature dependency of the substrate itself.

Temperature-frequency characteristics for the quartz and $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ resonators have parabolic dependency. The temperature, where the parabolic curve locates its top position, is called turn-over temperature. It can be chosen by selecting an appropriate cut angle of the substrate. Generally, it is within the $-20\text{ }^\circ\text{C}$ to $75\text{ }^\circ\text{C}$ range, and controlled within $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ of a particular temperature.

SAW resonators with other materials provide a linear temperature-frequency relation. The temperature coefficient is also affected by the adhesive agent, IDT and grating reflectors, but is negligible compared with the material itself.

d) *Long-term stability*

Characteristic changes caused by ageing or long-term stability for SAW resonators are shown in resonance frequency changes and in quality factor degradation. These changes are influenced by

- contamination on the resonator chip surface;
- mechanical stress, for example by differences in thermal expansion between the resonator substrate and the package;
- too high drive level.

In the first two cases the cause exists in the SAW resonator device itself, and there may be many occasions where they arise. It is well-known that some of them occur during the manufacturing process. Examples are the bare-chip manufacturing process, the chip-bonding process using adhesive agent, the package sealing process and others.

In the third case, the characteristic changes occur in the over-excited condition and depend on oscillator circuit design. Excessive drive level damages electrodes in the SAW resonator and shortens its life. This is described in 5.5 e). Usually, with care applied to the drive level limitation, long-term stability is several parts per million/year or less.

e) *Power durability*

The excessive repeated mechanical stress may induce electrode deterioration, such as voids and hillocks. This brings about resonance frequency shifts and quality factor degradation. To make a resonator work for a long enough period in most applications, the drive level shall be less than several milliwatts.

To improve high-power withstanding durability, doping a small amount of copper or titanium to the aluminium electrodes is used. Epitaxially-grown aluminium electrodes on quartz are also used. They are all designed to be effective to control the grain boundary in deposited, aluminium thin film. This limitation level depends on frequency, ambient temperatures, electrode constitutions and device design.

f) *Short-term stability for SAW oscillator*

Short-term stability is the spectrum purity of the oscillator and is defined as SSB (single side-band) noise, residual FM noise or C/N (carrier to noise ratio) for the oscillation signal. The performance depends on the quality factor of the SAW resonator and handling power level in an oscillation loop. In general, SAW oscillators can achieve higher, short-term stabilities compared with LC oscillators and dielectric resonator oscillators.

g) *Availability*

Typical properties of the available one-port SAW resonators for the various materials are shown in Table 2. For the two-port resonators, the quality factor is almost the same as for one-port resonators.

Table 2 – Typical properties of available one-port SAW resonators up to about 600 MHz

Substrate materials	ST-cut quartz	X-112° Y LiTaO ₃	36° Y-X LiTaO ₃
Quality factor Q	12 000 – 24 000	12 000 – 17 000	600
Capacitance ratio r	1 200 – 1 600	800	14
Figure of merit $M = Q/r$	9 – 17	18	40
TCF	$-0,034 \times 10^{-6}/K^2$	$-18 \times 10^{-6}/K$	$-33 \times 10^{-6}/K$

6 Application guide

6.1 Oscillator circuits and oscillation condition

Oscillators using SAW resonators provide stable oscillation in VHF and UHF frequency ranges without frequency multiplexing, and have good spectrum purity (i.e. short-term stability).

One-port SAW resonators are very similar to crystal resonators, from the electrical viewpoint, in spite of differences in mechanical vibration modes and frequency ranges used. Consequently, oscillators are constructed with the same type of crystal oscillator circuits.

On the other hand, two-port SAW resonators are electrically treated as narrow bandwidth filters. Oscillators are constructed with feedback amplifiers.

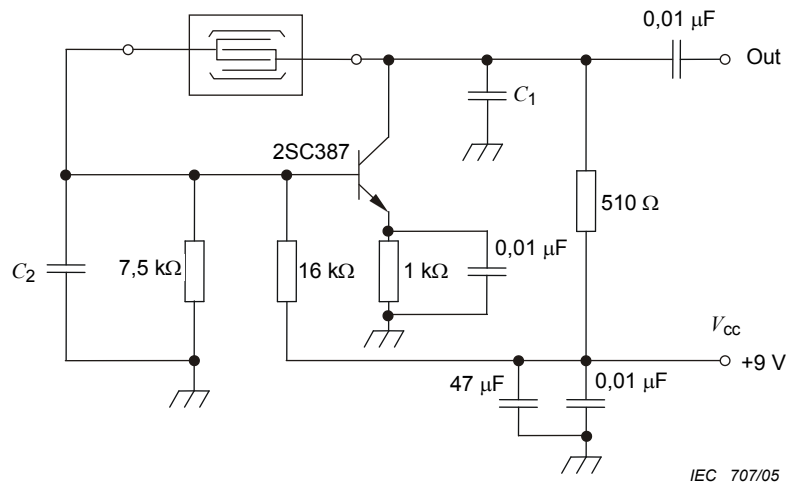
Figure 12a presents a typical one-port SAW resonator oscillator in the 100 MHz frequency range. This can be reduced to that shown in Figure 12b, considering the r.f. signal alone. The oscillation occurs in the frequency range, where the resonator is inductive.

In order to analyze the oscillation condition, the oscillator circuit is modelled by the equivalent circuit, consisting of a resonator element side and an active element side, as shown in Figure 12c.

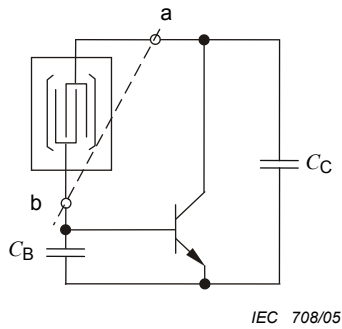
The resonator on the left-hand side can be re-written into the lumped element equivalent circuit, which is a reactance $X_e(f)$ in series with a resistance $R_e(f)$. The active element side can be replaced by a negative resistance R_L with a load capacitive reactance $X_L (= 1/(2\pi f \times C_L))$.

Oscillation occurs at the frequency f_{OSC} where the following equations are satisfied:

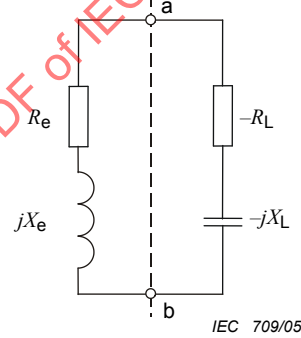
$$\begin{cases} X_e(f) = X_L \\ R_e(f) = R_L \end{cases}$$



a) – Oscillator circuit



b) – RF circuit of the oscillator



c) – Equivalent circuit

Figure 12 – 100 MHz one-port SAW resonator oscillator

The oscillation frequency can be approximately determined by the following equation:

$$f_{\text{osc}} = f_r \times \left(1 + \frac{C_0}{2r(C_0 + C_L)} \right)$$

where

f_r is the resonance frequency;

r is the capacitance ratio (C_0/C_1) of the resonator;

This means that the oscillation frequency can be changed slightly by varying the load reactance.

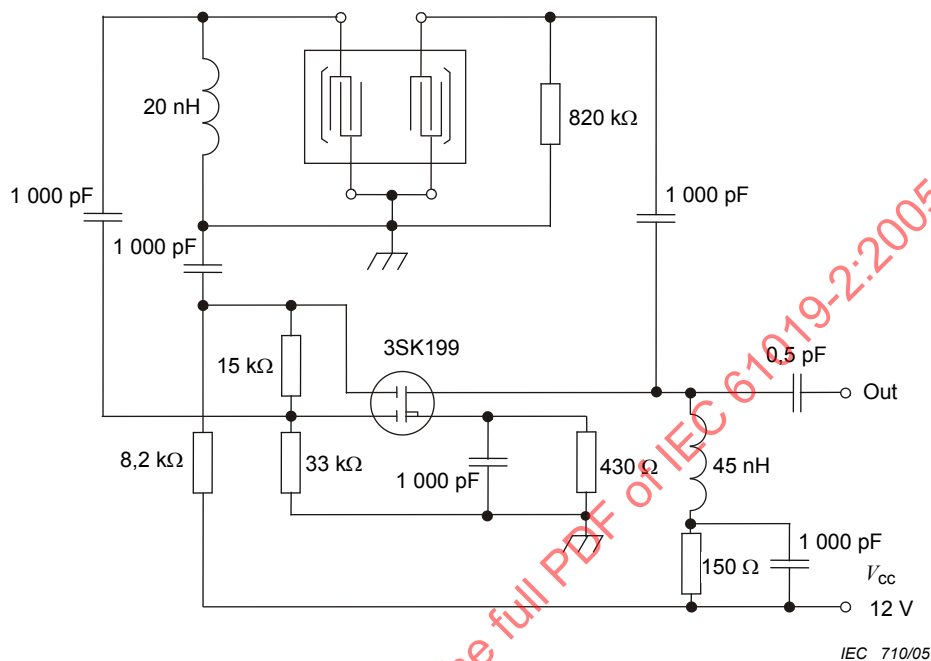
Figure 13a presents a typical two-port SAW resonator oscillator, for the 600 MHz frequency range. This can be simplified as shown Figure 13b, where an active element works as a feedback amplifier. The feedback amplifier shall be designed to satisfy the following conditions:

$$IA \leq G_E \quad (\text{dB})$$

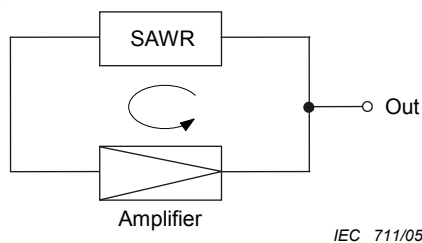
$$\phi + \phi_E = 2n\pi \quad (\text{radian})$$

where n is an integer.

The former is an amplitude conditional equation for oscillation, where the amplifier gain G_E is required to exceed the SAW resonator insertion attenuation (IA). The latter is a phase conditional equation, where the loop phase shift across the amplifier ϕ_E and the SAW resonator ϕ is required to be an integral number of 2π at the oscillation frequency. This means that the oscillation does not occur at the exact resonance frequency of the SAW resonator, but mainly depends on the phase condition, influenced by the feedback amplifier phase shift.



a) Oscillator circuit



b) Equivalent circuit

Figure 13 – 600 MHz two-port SAW resonator oscillator

Also, attention should be paid to the fact that two-port SAW resonators could be designed to approximately 0° phase shift or 180° phase shift, by appropriately setting the IDT position and by lead connection.

6.2 Practical remarks for oscillator applications

As described previously, the oscillation frequency differs from the exact resonance frequency and the centre frequency of either one-port or two-port SAW resonators. The frequency difference depends on the oscillator circuit condition; load capacitance or feedback amplifier phase shift. Resonators should be ordered with due consideration to the frequency dependency on the designed oscillator circuit.

A check should also be made to determine whether or not an application accepts the degree of resonator characteristic changes, as described in 5.5 d). For this purpose, the manufacturer shall continually carry out quality conformance tests, especially accelerated or continuous ageing tests, and then present the data.

High power excitation tends to degrade the SAW resonator characteristics and change the resonance frequency, as described in 5.5 e). This means degradation of long-term stability for the resonator. An oscillator circuit shall be designed so as not to exceed the maximum drive level for the resonator. It is recommended to carry out long-term ageing tests in the actual oscillator circuit, when a new SAW oscillator circuit is designed.

In general, accelerated ageing tests, which are much more severe than normal operating conditions with regard to excitation, temperature, or others, will be carried out for the power dissipation capability evaluation.

7 Checklist of SAW resonator parameters for drawing up specifications

The following checklist (Table 3) provides guidance for the manufacturer to complete specifications for a particular SAW resonator type, including parameters and operating environmental characteristics. It is also useful for ordering the resonator and should be considered in drawing up the specifications. The prospective user is then able to more accurately evaluate the applicability of the resonator to his intended use. The list also assists the user when he finds it necessary to specify a new SAW resonator for a particular application, by alerting him to the various operating conditions and performance characteristics which need definition.

When the requirements are met by a standard item, it is sufficient to specify the corresponding specifications. When the requirements cannot be wholly met by existing detail specifications, the specifications should be referred to, together with a list of known differences.

In rare cases, where the differences are such that it is not reasonable to quote existing detail specifications, new specifications should be prepared in a similar format to that already used for standard detail specifications.

Clearly, it is not necessary to specify all the parameters listed for every application; only those which are of importance in a particular case should be imposed. Specifications regarding non-critical parameters, as well as imposition of unnecessarily close tolerances, can result in excessive costs.

In Table 3, references are made to the relevant clauses and subclauses of IEC 61019-1. These references appear in column 2. In column 3, "one-port" and "two-port" mean "one-port SAW resonator only" and "two-port SAW resonator only", respectively.

Table 3 – Checklist

Parameters and characteristics	Clause and subclause of IEC	Comments
1	2	3
Application		
Description		
Operating conditions		
Operating temperature range	61019-1, 4.2.4	
Level of drive	61019-1, 4.2.7	
Absolute maximum level of drive		
Testing level of drive		
Frequency characteristics		
Nominal frequency	61019-1, 4.2.1	
Working frequency	61019-1, 4.2.2	
Temperature coefficient of frequency		
Frequency tolerances	61019-1, 4.2.3	
Overall tolerance	61019-1, 4.2.3.1	
Adjustment tolerance	61019-1, 4.2.3.2	
Ageing tolerance	61019-1, 4.2.3.3	
Frequency of maximum admittance	61019-1, 4.2.10.2.1	One-port
Motional resonance frequency	61019-1, 4.2.10.2.2	One-port
Anti-resonance frequency	61019-1, 4.2.10.3	One-port
Load resonance frequency	61019-1, 4.2.10.13	One-port
Spurious resonance	61019-1, Figure 4	One-port
Centre frequency	61019-1, 4.2.11.9	Two-port
Motional resonance frequency for two-port resonator	61019-1, 4.2.11.4	Two-port
Minimum insertion attenuation for two-port resonator	61019-1, 4.2.11.8	Two-port
Spurious resonance rejection	61019-1, 4.2.11.10	Two-port
Electrical characteristics		
Quality factor	61019-1, 4.2.10.8	One-port
Unloaded quality factor	61019-1, 4.2.11.5	Two-port
Loaded quality factor	61019-1, 4.2.11.6	Two-port
Motional resistance	61019-1, 4.2.10.4	One-port
Shunt capacitance	61019-1, 4.2.10.7	One-port
Load capacitance	61019-1, 4.2.10.11	One-port
Input capacitance	61019-1, 4.2.11.2	Two-port
Output capacitance	61019-1, 4.2.11.3	Two-port
Operating phase shift	61019-1, 4.2.11.11	Two-port
Tuning inductance	61019-1, 4.2.11.12	Two-port
Insulation resistance	61019-1, 8.6.3	
DC voltage overdrive		
Voltage proof	61019-1, 8.6.4	
Electromagnetic interference		
Electrostatic damage		
Other factors		

Table 3 (continued)

Parameters and characteristics	Clause and subclause of IEC	Comments
1	2	3
Environmental characteristics		
Temperature ranges		
Absolute maximum temperatures		
Storage temperature range		
Operable temperature range	61019-1, 4.2.4.1, 5.2	
Rapid temperature change (thermal shock in air)	61019-1, 8.7.4, 8.7.5	
Bump	61019-1, 8.7.6	
Vibration	61019-1, 8.7.7	
Shock	61019-1, 8.7.8	
Acceleration, steady state	61019-1, 8.7.10	
Low air pressure	61019-1, 8.7.11	
Climatic sequence	61019-1, 8.7.15	
Dry heat	61019-1, 8.7.12	
Damp heat, cyclic, first cycle	61019-1, 8.7.13	
Cold	61019-1, 8.7.14	
Damp heat, cyclic, remaining cycles	61019-1, 8.7.13	
Damp heat (long term exposure)	61019-1, 8.7.16	
Sealing test	61019-1, 8.7.2	
Gross leak test	61019-1, 8.7.2.1	
Fine leak test	61019-1, 8.7.2.2	
High temperature ageing	61019-1, 8.8.1	
Other factors		
Physical characteristics		
Outline dimensions	61019-3	
Electrical connections of terminals	61019-3	
Robustness of terminals	61019-1, 8.7.1	
Solderability	61019-1, 8.7.3	
Marking	61019-1, Clause 6	
Mounting arrangements		
Weight		
Other factors		
Inspection requirements		
Applicable documents (related specifications)		
Inspection authority		
Type test		
Type test procedure		
Acceptable quality level		
Other factors		

It should be clearly stated in the detail specification whether the SAW resonator is required to operate while under conditions of shock, vibration or acceleration.

Bibliography

Books

- [1] H. Matthews: *Surface Wave Filters*, John Wiley and Sons Inc., New York, 1977
- [2] E.A. Gerber and A. Ballato: *Precision Frequency Control*, Academic Press, Orlando, FL 1985.
- [3] D.P. Morgan: *Surface-Wave Devices for Signal Processing*, Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
- [4] M. Feldmann and J. Henaff: *Surface Acoustic Waves for Signal Processing*, Artech House, Boston, 1989.

Specialist articles

Materials

- [1] A.J. Slobodnik, Jr.: *Surface Acoustic Waves and SAW Materials*, IEEE Proceedings. 64, 5, pp.581-595, 1976.
- [2] M.B. Schulz, B.J. Matsinger and M.G. Holland: *Temperature Dependence of Surface Acoustic Wave Velocity on alpha Quartz*. J. of Applied Physics, 41, 7 , pp. 2755-2765, 1970.
- [3] H. Hirano: *LiTaO₃ Single Crystals for SAW Device Applications*, Proc. 1st Meeting on Ferroelectric Materials and Their Applications, pp. 81 -86, 1977.
- [4] N.M. Shorrocks, R.W. Whatmore, F.W. Ainger and I.M. Young: *Lithium Tetraborate – A New Temperature Compensated Piezoelectric Substrate Material for Surface Acoustic Wave Devices*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 337-340, 1981.
- [5] Y. Shimizu, M. Tanaka, and T. Watanabe: *A New Cut of Quartz with Extremely Small Temperature Coefficient by Leaky Surface Wave*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 233-236, 1985.

Reflector structures

- [1] R.C. Williamson and H.I. Smith: *The Use of Surface-Elastic-Wave Reflection Grating in Large Time-Bandwidth Pulse-Compression Filters*. IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., MTT-21(4), pp.195-205, 1973.
- [2] E.K. Sittig and G.A. Coquin: *Filters and Dispersive Delay Lines Using Repetitively Mismatched Ultrasonic Transmission Lines*, IEEE Trans. Sonics & Ultrason., SU-15, pp. 111-119, 1968.
- [3] P.S. Cross; *Properties of Reflective Arrays for Surface Acoustic Resonators*, IEEE Trans. Sonics & Ultrason., SU-23(4), pp. 255-262. 1976.
- [4] R.C.M. Li and J. Melngailis: *The Influence of Stored Energy at Step Discontinuities on the Behavior of Surface-Wave Gratings*, IEEE Trans. Sonics & Ultrason., SU-22(3), pp. 189-198, 1975.
- [5] T. Kojima and J. Tominaga: *Split Open Metal Arrays and Their Application to Resonators*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 117-122, 1981.
- [6] H. Shimizu and M. Takeuchi: *Theoretical Studies of the Energy Storage Effects and the Second Harmonic Responses of SAW Reflection Gratings*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 667-672, 1979.

- [7] M. Koshiba, S. Mitobe and M. Suzuki: *Finite-Element Analysis of Periodic Waveguides for Acoustic Waves*, Japan J. Appl. Phys., vol. 23, Supplement 23-1, p. 139, 1984.
- [8] Y.Suzuki, H.Shimizu, M.Takeuchi, K.Nakamura, and A.Yamada: *Some Studies on SAW Resonators and Multiple-mode Filters*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp.297-302, 1976

Resonator design and application

- [1] E.A. Ash: *Surface Wave Grating Reflectors and Resonators*, Proc. IEEE Symp. Microwave Theory and Tech., 1970.
- [2] E.J. Staples, J.S. Schoenwald, R.C. Rosenfeld and C.S. Hartmann: *UHF Surface Acoustic Wave Resonators*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 245-252, 1974.
- [3] K.M. Lakin and T.R. Joseph: *Surface Wave Resonators*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 269-278, 1975.
- [4] D.T. Bell Jr. and R.C.M. Li: *Surface-Acoustic-Wave Resonators*, Proc. IEEE, 64, 5, pp. 711-721, 1976.
- [5] Y. Koyamada, S. Yoshikawa and F. Ishihara: *Analysis of SAW Resonators Using Long IDTs and Their Applications*, Trans. IECE Japan, J-60A(9), pp. 805-812, 1977.
- [6] T. Uno, H. Jumonji: *Optimization of Quartz SAW Resonator Structure with Groove Gratings*, IEEE Trans. Sonics & Ultrason., pp. 299-310, 1982.
- [7] F.G. Marshall: *Surface Acoustic Wave Resonators Constructed of Aluminum on ST Quartz for Use in High Stability Feed Back Oscillators*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 290-292, 1975.
- [8] Y. Ebata, K. Sato and S. Morishita: *A LiTaO₃ SAW Resonator and its Application to Video Cassette Recorder*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 111-116, 1981.
- [9] J.I. Latham, W.R. Shreve, N.J. Tolar and P.B. Ghate: *Improved Metallization for Surface Acoustic Wave Devices*, *Thin Solid Film*, 64, pp. 9-15, 1979.
- [10] Y. Ebata and S. Morishita: *Metal-migration of Aluminum Film on SAW Resonator*, Trans. IECE Japan, Vol. J67-C, No.3, pp.278-285, 1984.
- [11] J.A. Learn: *Electromigration Effects in Aluminum Alloy Metallization*, *J. of Elec. Mat.*, 3, 2, pp. 531-552, 1974.
- [12] J. Yamada, N. Hosaka, A. Yuhara and A. Iwama: *Sputtered Al-Ti Electrodes for High Power Durable SAW Devices*, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp. 285-290, 1988.
- [13] M. Koshino, K. Yamashita, T. Kurokawa, Y. Ebata and M. Takase: *Driving Current Dependence of Aging Drift in 600 MHz Band SAW Resonators*, IEEE Trans. Consumer Elec., Ce-32(3), pp. 659-665, 1986.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	29
INTRODUCTION.....	31
1 Domaine d'application	32
2 Références normatives	32
3 Aspects techniques	32
4 Aspects fondamentaux des résonateurs à OAS	33
4.1 Structure de base	33
4.2 Principe de fonctionnement.....	34
5 Caractéristiques d'un résonateur à OAS	34
5.1 Caractéristiques des réflecteurs.....	34
5.2 Caractéristiques des résonateurs à OAS.....	36
5.3 Modes parasites.....	40
5.4 Matériaux de substrat et leurs caractéristiques	41
5.5 Caractéristiques disponibles	43
6 Guide d'application	45
6.1 Circuits d'oscillateur et condition d'oscillation.....	45
6.2 Remarques pratiques pour des applications d'oscillateurs.....	48
7 Liste de contrôle des paramètres de résonateurs à OAS pour élaborer des spécifications.....	48
Bibliographie.....	52

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSONATEURS À ONDES ACOUSTIQUES DE SURFACE (OAS) –

Partie 2: Guide d'emploi

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61019-2 a été établie par le comité d'études 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

La présente seconde édition annule et remplace la première édition parue en 1995. Cette édition constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition antérieure sont indiquées ci-dessous:

- à la fin de 5.1, le réflecteur de bord a été ajouté. L'ouvrage de référence qui s'y rapporte a été inséré dans la bibliographie;
- dans le Tableau 1, les propriétés de propagation du LiNbO_3 (64°Y) ont été ajoutées;
- dans le Tableau 3, les numéros des articles et des paragraphes ont été corrigés pour correspondre à la CEI 61019-1 (2004) qui remplace la CEI 61019-1-1 (1990) et la CEI 61019-1-2 (1993).

La présente version bilingue (2014-02) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2005-05.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 49/714/FDIS et 49/723/RVD.

Le rapport de vote 49/723/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

La CEI 61019 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS)*:

Partie 1: Informations génériques

Partie 2: Guide d'emploi

Partie 3: Encombrements normalisés et connexions des sorties

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

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

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

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 61019 donne un guide pratique des résonateurs à OAS utilisés dans les télécommunications, dans les équipements de radio et les produits de consommation. On se reportera à la CEI 61019-1 pour les informations générales, les valeurs normalisées et les conditions d'essai.

Les résonateurs à OAS sont caractérisés par leurs petites dimensions, leur faible poids, l'absence de réglage et leur fiabilité élevée. En outre, la fréquence de fonctionnement des résonateurs à OAS s'étend dans les gammes VHF et UHF.

La présente partie a été compilée pour répondre à un désir généralement exprimé, tant par les utilisateurs que par les fabricants, de disposer d'un guide pour l'emploi des résonateurs à OAS, afin qu'ils puissent être utilisés au mieux. Pour cette raison, les caractéristiques générales et fondamentales sont expliquées dans le présent guide.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61019-2:2005

RÉSONATEURS À ONDES ACOUSTIQUES DE SURFACE (OAS) –

Partie 2: Guide d'emploi

1 Domaine d'application

Les résonateurs à OAS sont maintenant largement utilisés dans une large gamme d'applications telles que les convertisseurs vidéo à radiofréquence, les oscillateurs locaux dans les convertisseurs des TV couleur, les appareillages de mesure, les télécommandes, etc. Bien que les résonateurs à OAS soient aussi utilisés pour les filtres à bande étroite, le domaine d'application de la présente partie de la CEI 61019 est limité aux résonateurs à OAS destinés aux applications des oscilloscopes.

Ce guide n'est pas destiné à expliquer la théorie, ni à couvrir toutes les situations qui peuvent se présenter dans la pratique. Ce guide attire l'attention sur certaines des questions les plus importantes qu'il convient qu'un utilisateur prenne en compte avant de commander un résonateur à OAS pour une nouvelle application. Ainsi, l'utilisateur évitera d'être confronté à des performances non satisfaisantes.

Les spécifications normalisées, telles que celles de la CEI, dont le présent guide fait partie, ainsi que les spécifications nationales ou les spécifications particulières des fabricants définiront les combinaisons disponibles de fréquence de résonance, de facteur de qualité, de résistance dynamique, de capacité parallèle, etc. Ces spécifications sont groupées pour couvrir une large gamme de résonateurs à OAS possédant des performances normalisées. On ne saurait trop insister sur le fait qu'il convient que l'utilisateur doit, dans la mesure du possible, choisir des résonateurs à OAS à partir de ces spécifications, quand elles sont disponibles, même si cela peut l'amener à apporter de légères modifications à son circuit pour permettre l'utilisation de résonateurs normalisés. Ceci s'applique en particulier à la sélection de la fréquence nominale.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61019-1:2004, *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) – Partie 1: Spécification générique*

CEI 61019-3:1991, *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) – Partie 3: Encombrements normalisés et connexions des sorties*

3 Aspects techniques

Il est primordial pour l'utilisateur que les caractéristiques du résonateur soient conformes aux spécifications particulières. Pour satisfaire à de telles spécifications, il convient que la sélection des circuits oscillants et des résonateurs à OAS fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Les caractéristiques des résonateurs sont généralement exprimées en termes de fréquence de résonance, de résistance dynamique, de facteur de qualité et de capacité parallèle (pour le type à un port) et de fréquence centrale, d'affaiblissement d'insertion, de facteur de qualité en

charge et sans charge, de capacité d'entrée et de capacité de sortie (pour le type à deux ports). Une méthode normalisée pour mesurer les caractéristiques d'un résonateur est décrite en 8.5 et 8.6 de la CEI 61019-1. Les spécifications doivent être satisfaites entre la température inférieure et la température supérieure de la gamme de températures de fonctionnement spécifiée et avant et après les essais d'environnement.

4 Aspects fondamentaux des résonateurs à OAS

4.1 Structure de base

Les résonateurs à OAS sont constitués de transducteurs interdigités (TID) et de réflecteurs en réseau, qui sont placés sur la surface d'un substrat piézoélectrique. Dans la plupart des cas, les réflecteurs en réseau sont faits d'un mince film de métal (par exemple de l'Al ou de l'Au) alors que, dans certains cas, ils sont construits avec les sillons périodiques. La puce est collée par un agent adhésif dans un boîtier scellé, et le TID est connecté électriquement aux bornes avec des fils de liaison. Il existe deux configurations de résonateur à OAS. Les résonateurs à OAS à un port et les résonateurs à OAS à deux ports. Le premier a un seul TID entre deux réflecteurs, comme représenté à la Figure 1. Le deuxième a un deux TID entre deux réflecteurs, comme représenté à la Figure 2. Dans les figures, l_{eff} est la longueur de la cavité des résonateurs, comme décrit en 5.2 c).

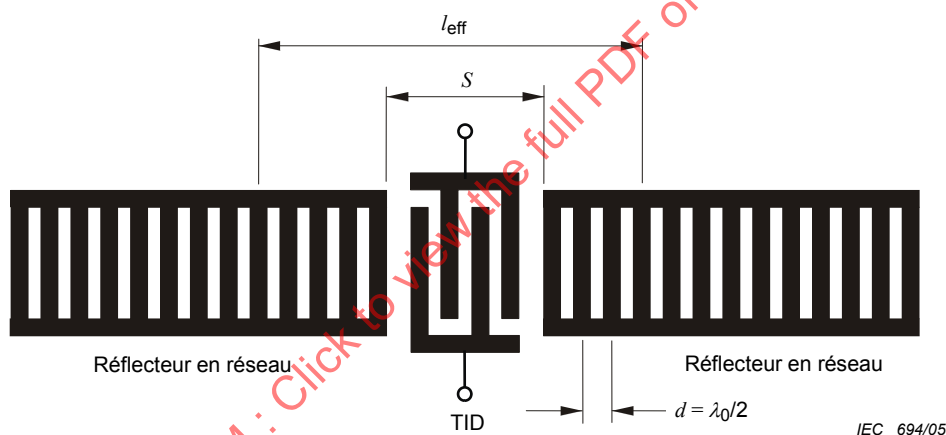


Figure 1 – Configuration d'un résonateur à OAS à un port

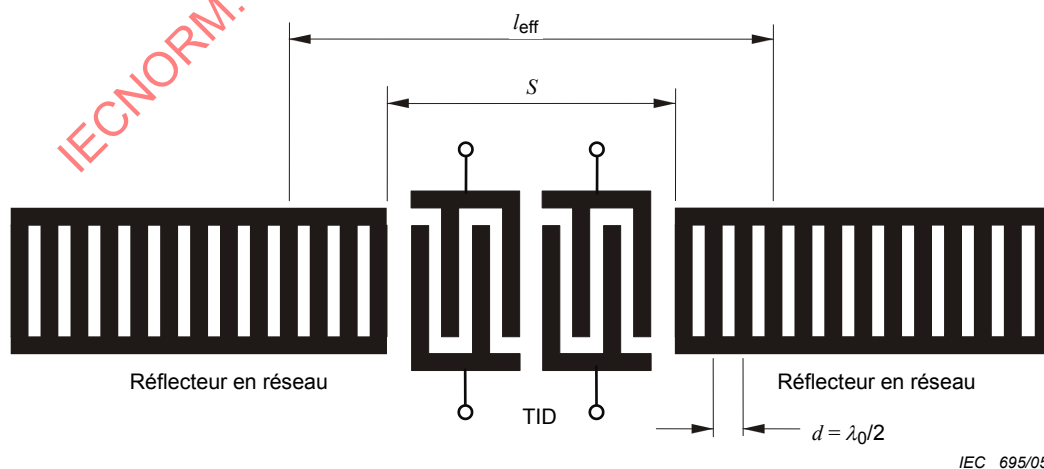


Figure 2 – Configuration d'un résonateur à OAS à deux ports

4.2 Principe de fonctionnement

Le phénomène de résonance pour des résonateurs à OAS est obtenu en confinant l'énergie des vibrations des OAS à l'intérieur des réflecteurs en réseau. L'OAS, excitée par un champ électrique alternatif entre les doigts des électrodes TID, se propage hors du TID pour être réfléchi par les réflecteurs en réseau.

Les réflecteurs en réseau délivrent la perturbation à l'OAS, en raison de la discontinuité de l'impédance électrique ou mécanique. Quand l'OAS est incidente sur de tels réflecteurs en réseau, l'onde incidente est progressivement convertie en onde réfléchi. Bien que la quantité de perturbation par élément réfléchissant puisse être très petite, un grand nombre de tels éléments, disposés périodiquement, réfléchissent l'OAS en phase, et maximisent la réflexion cohérente.

Ces configurations en réseau peuvent former une frontière de réflexion efficace, créant une onde stationnaire entre les réflecteurs et donnent une résonance avec un facteur de qualité Q très élevé. La Figure 3 représente la distribution de déplacement pour cette onde stationnaire pour un résonateur à OAS à un port. Comme le montre la figure, l'énergie de l'OAS est au maximale à proximité du centre du TID et diminue progressivement vers les bords des réflecteurs en réseau. La fréquence de résonance, f_r , est déterminée approximativement par

$$f_r \approx v_s / (2d) = v_s / \lambda_0$$

où

v_s est la vitesse de propagation de l'OAS;

d est la distance entre les centres des électrodes;

λ_0 est la longueur d'onde de l'OAS à la fréquence centrale de la bande atténuée.

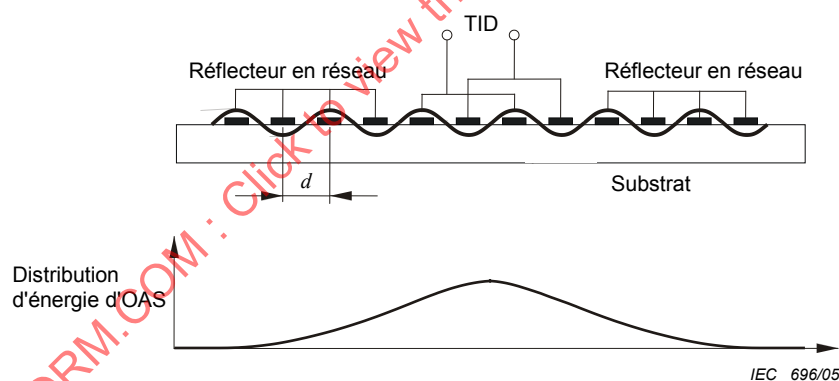


Figure 3 – Diagramme d'onde stationnaire et distribution d'énergie d'une OAS

5 Caractéristiques d'un résonateur à OAS

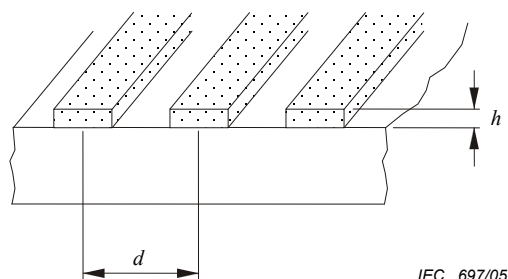
5.1 Caractéristiques des réflecteurs

Le réflecteur pour des résonateurs à OAS est constitué d'un réseau d'éléments réfléchissants disposés périodiquement, appelé un réflecteur en réseau. Comme le montrent les vues en coupe de la Figure 4, des éléments en réseau possibles sont:

- a) des bandes de métal ou des arêtes diélectriques;
- b) des sillons,
- c) des bandes dans lesquelles des ions ont été implantés ou du métal a été diffusé.

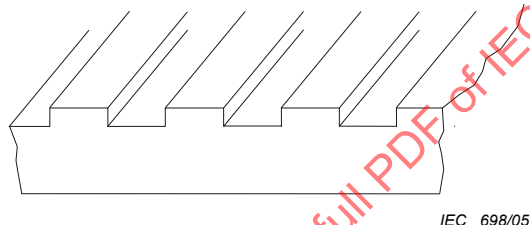
Par exemple, une bande en aluminium sur un quartz de coupe ST, dont l'épaisseur h est 1 % de la longueur d'onde $\lambda(h/\lambda_0)$ et dont la largeur w est la moitié de la période spatiale ($w = d/2$

$= \lambda_0/4$), présente un faible coefficient de réflexion ε d'environ 0,5 %. Un sillon de 1 % de profondeur a presque le même ε . Cette perturbation périodique cause une réflexion efficace de l'énergie de l'OAS, si sa longueur d'onde vaut deux fois sa périodicité.



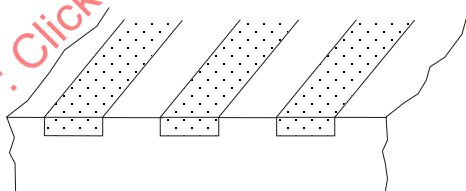
IEC 697/05

4a – Bandes de métal ou des arêtes diélectriques



IEC 698/05

4b – Sillons



IEC 699/05

4c – Bandes dans lesquelles des ions ont été implantés ou du métal a été diffusé

Figure 4 – Configurations de réflecteurs en réseau

Un réflecteur en réseau sans perte avec un nombre fini d'éléments en réseau a une gamme de fréquences de réflexion presque totale appelée la bande atténuée. La largeur de bande atténuée fractionnaire à la fréquence centrale est $2\varepsilon/\pi$, où ε est le coefficient de réflexion pour un élément. La Figure 5 indique la dépendance à la fréquence sur la réflectivité totale $|\Gamma|$ pour le réflecteur en réseau avec un nombre fini N_R d'éléments en réseau. En théorie, la valeur maximale de réflectivité est obtenue comme suit:

$$|\Gamma|_{\max} = \tanh(N_R \times \varepsilon)$$

à la fréquence centrale f_0 de la bande atténuée. Une réflectivité plus grande augmente la valeur Q du résonateur à OAS en raison de la diminution des fuites d'énergie des OAS stockée dans la cavité entre deux réflecteurs en réseau.

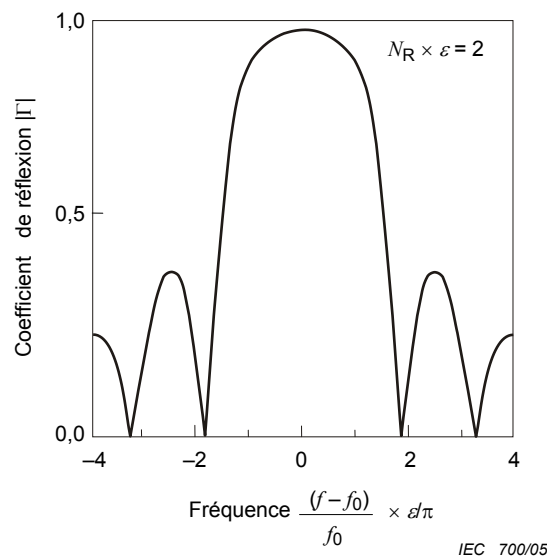


Figure 5 – Réponse de réflectivité pour une réflexion en réseau

Pour obtenir une réflectivité plus grande, l'équation précédente montre clairement qu'il convient que $N_R \times \varepsilon$ soit plus grand. Augmenter le nombre d'éléments N_R d'un réflecteur est la manière la plus simple d'obtenir une réflectivité plus grande. Toutefois, en pratique, un plus grand nombre d'éléments, c'est-à-dire une taille de réflecteur plus grande, exige une plus grande puce à OAS ce qui signifie un résonateur à OAS onéreux. Généralement, $N_R \times \varepsilon = 4$ est une valeur appropriée pour les résonateurs à OAS pratiques.

Pour obtenir une plus grande réflectivité, il est également efficace d'augmenter la réflexion d'un élément. Pour ceci, il convient que les bandes soient plus épaisses ou que les sillons soient plus profonds. En général, ε est proportionnel à l'épaisseur ou à la profondeur h/λ_0 . Des bandes plus épaisses ou des sillons plus profonds nécessitent un nombre d'élément N_R plus petit pour obtenir le même coefficient de réflexion et une plus grande largeur de bande atténuée. Toutefois, un réflecteur avec un grand h/λ_0 présente les inconvénients suivants:

- la perte de conversion de mode entre OAS et onde de volume tend à augmenter, ce qui peut dégrader le facteur de qualité;
- l'écart entre la fréquence centrale de la bande atténuée et la fréquence $\nu_s/(2d)$ augmente parce que la fréquence centrale est fonction du carré de h/λ_0 . Ceci peut entraîner des problèmes lors de la production de masse.

Pour un matériau de substrat supportant une onde de cisaillement, la réflexion au bord d'un substrat peut être utilisée pour remplacer un réflecteur en réseau. Ceci offre l'avantage de réduire la taille pour correspondre à la taille d'éléments en réseau.

5.2 Caractéristiques des résonateurs à OAS

a) Résonateurs à OAS à un port

Un résonateur à OAS à un port a des caractéristiques de transmission représentées à la Figure 6.

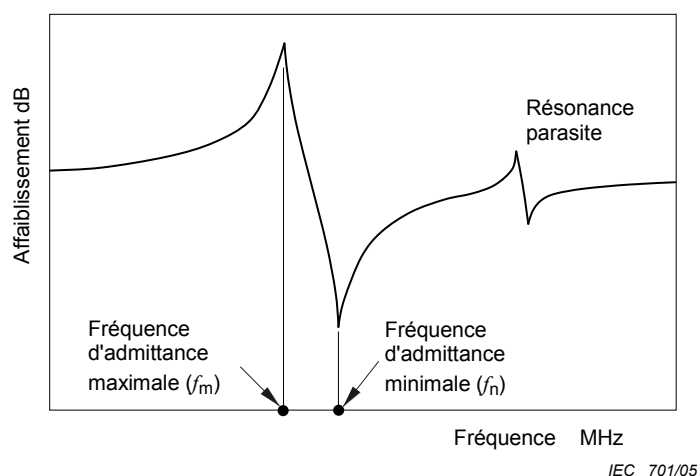
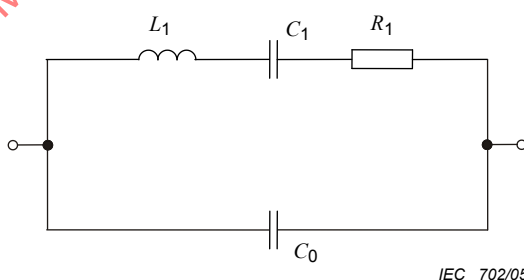


Figure 6 – Caractéristiques de fréquence typiques d'un résonateur à OAS à un port inséré en série dans une ligne de transmission

Le circuit équivalent de la Figure 7 représente cette résonance du résonateur à OAS à un port. En comparant des résonateurs à OAS faits de différents matériaux piézoélectriques, le facteur de mérite $M = Q/r$ dérivé du circuit équivalent peut être utilisé. Par exemple, des résonateurs à OAS sur un substrat de quartz ont un facteur Q élevé et un grand r , alors que ces deux valeurs avec du LiTaO_3 de coupe X sont plus petites. Les deux résonateurs ont un facteur de mérite semblable. Pris seuls, Q ou le rapport de capacité r , sont insuffisants pour effectuer une comparaison.

Le circuit équivalent de la Figure 7 peut être remplacé par une réactance avec une résistance série: $R_e(f) + jX_e(f)$, où X_e et R_e sont la réactance série équivalente et la résistance série équivalente, respectivement. Les dépendances de fréquence pour ces valeurs sont représentées à la Figure 8, où la valeur X_e/R_e atteint son maximum à la moyenne arithmétique des fréquences de résonance et d'antirésonance de susceptance nulle.



$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \times C_1}}$ est la fréquence de résonance dynamique (série);

$Q = 2\pi f_s \times L_1 / R_1$ est le facteur de qualité;

$r = C_0 / C_1$ est le rapport de capacité;

$M = Q/r$ est le facteur de mérite;

L_1, C_1, R_1 sont l'inductance dynamique, la capacité dynamique et la résistance dynamique, respectivement;

C_0 est la capacité statique.

Figure 7 – Circuit équivalent d'un résonateur à un port

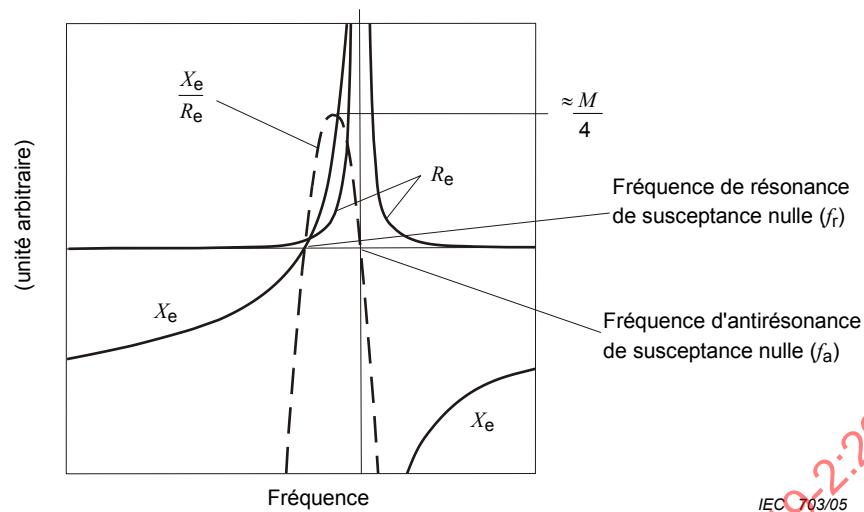


Figure 8 – Réponse en fréquence pour la résistance équivalente série (R_e), la réactance équivalente série (X_e) et X_e/R_e

La valeur maximale du circuit équivalent peut être obtenue comme suit:

$$(X_e/R_e)_{\max} \approx (Q/r) / 4$$

Pour obtenir l'oscillation plus facilement, il convient que les résonateurs aient une réactance de facteur de qualité Q élevé. En conséquence, le facteur de mérite est approprié pour comparer des résonateurs à OAS.

L'impédance du résonateur est inversement proportionnelle à la conception de l'ouverture. Toutefois, un résonateur d'ouverture trop étroite tend à augmenter r , en raison de la capacité parasite, et à dégrader Q , en raison de la perte de diffraction. Par ailleurs, un résonateur d'ouverture trop large a un Q relativement bas, en raison de la résistance d'électrode.

b) Résonateurs à OAS à deux ports

Les caractéristiques de transmission des résonateurs à deux ports sont représentées à la Figure 9.

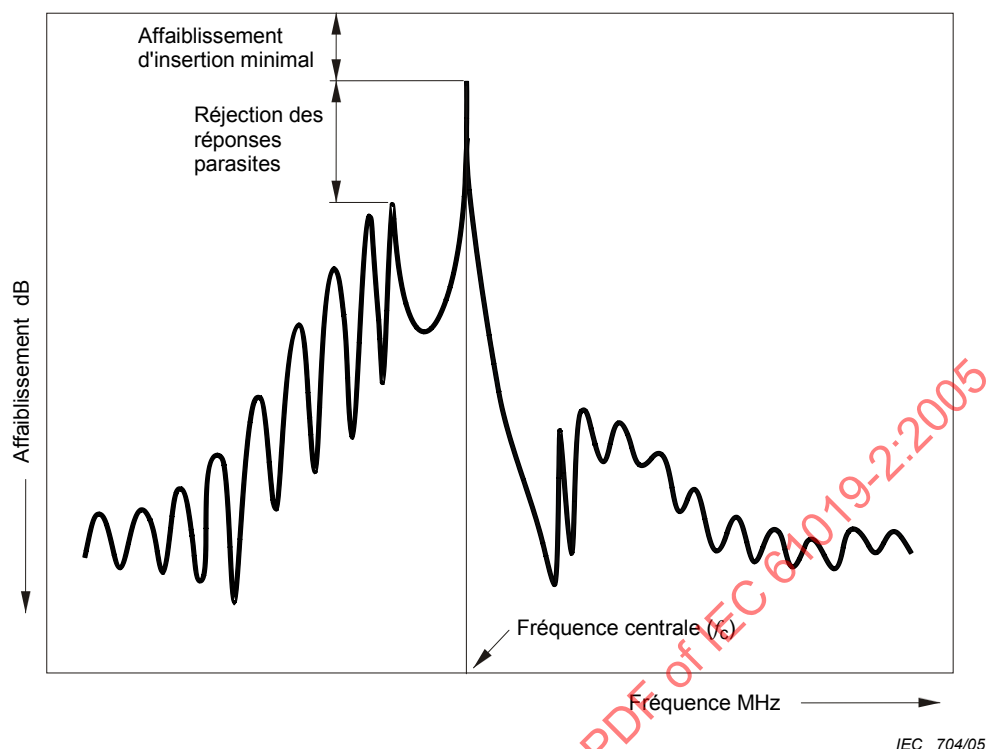
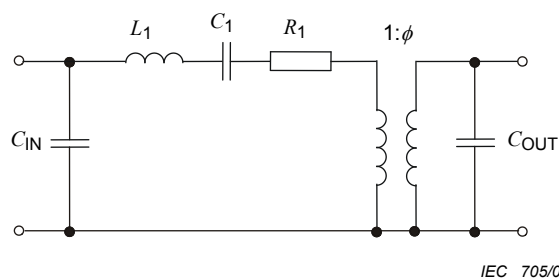


Figure 9 – Caractéristiques d'affaiblissement d'insertion et de réponse parasite d'un résonateur à deux ports

Un circuit équivalent pour un résonateur à OAS à deux ports, au voisinage de la fréquence centrale, est représenté à la Figure 10. Il est construit avec un bras dynamique avec une inductance (L_1), une capacité (C_1) et une résistance (R_1) en série, deux capacités parallèles (C_{IN} et C_{OUT}) shuntant les ports d'entrée et de sortie et un transformateur idéal. Le rapport de spires ϕ d'un transformateur idéal est dérivé des structures des transducteurs d'entrée et de sortie. Lorsque les deux structures sont identiques, la valeur ϕ vaut 1; un type à déphasage de 0° est exprimé par $\phi = 1$ et un type à déphasage de 180° est exprimé par $\phi = -1$. Les résonateurs à OAS à deux ports, avec des impédances d'entrée et de sortie différentes, ont une valeur $|\phi|$ différente de 1.



Légende

L_1	inductance dynamique	C_{IN}	capacité d'entrée
C_1	capacité dynamique	C_{OUT}	capacité de sortie
R_1	résistance dynamique	ϕ	rapport de spires

Figure 10 – Circuit équivalent d'un résonateur à deux ports

Pour les résonateurs à deux ports, il n'y a pas d'indice évident pour le facteur de mérite comme pour les résonateurs à un port. Les résonateurs oscillant facilement sont des dispositifs avec peu de pertes dans le circuit spécifique et avec une transition de phase

appropriée de 0° ou de 180°. Une petite résistance dynamique R_1 est essentielle pour les faibles pertes. Un résonateur d'impédance plus petite (C_{IN} et C_{OUT} plus grandes) a des pertes plus petites, dans la plupart des cas.

c) *Paramètres du circuit équivalent*

Les paramètres du circuit équivalent pour un résonateur à OAS à un port peuvent être représentés comme suit, quand on néglige la réflexion des OAS au niveau des doigts du TID:

$$L_1 = \frac{l_{\text{eff}}/\lambda_0}{4f_0|\Gamma|} \times R_a$$

$$R_1 = \frac{1-|\Gamma|}{2|\Gamma|} \times R_a$$

$$C_1 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_1}$$

$$C_0 = N \times w(1 + \varepsilon_r) \times \varepsilon_0$$

où

$$R_a = \frac{1}{8k_s^2 f_0 N C_0} \text{ est la résistance de rayonnement du TID à } f_0;$$

$$f_0 = v_s/(2d);$$

N est le nombre de paire de doigts du TID;

w est l'ouverture;

k_s^2 est le coefficient de couplage des OAS;

ε_r est la perméabilité relative du substrat piézoélectrique;

ε_0 est la permittivité du vide;

Γ est le coefficient de réflexion d'un réflecteur;

λ_0 est la longueur d'onde des OAS à la fréquence centrale;

l_{eff} est la longueur de la cavité du résonateur représenté sur les Figures 1 et 2 ($l_{\text{eff}} \approx S + \lambda_0/(2\varepsilon)$), où S est une séparation des réflecteurs en réseau.

Pour des résonateurs à deux ports, C_0 doit être remplacé par C_{IN} ou C_{OUT} respectivement. Les autres équations sont identiques aux équations ci-dessus.

5.3 Modes parasites

Les résonateurs à OAS présentent de nombreux modes parasites. Un de ces mode est le mode de résonance des OAS d'ordre élevé, appelé mode longitudinal et transversal. D'autres types de modes des OAS, tels que les OAS de fuite, SSBW, ondes de Love, peuvent être délivrés par le TID. Un autre mode est le mode des ondes de volume. Les Figures 6 et 9 représentent des caractéristiques parasites typiques pour des résonateurs à un port et à deux ports, respectivement. Ces modes parasites peuvent être réduits en appliquant différentes techniques aux résonateurs.

Lorsqu'ils sont utilisés dans un circuit d'oscillateur, ces modes parasites posent rarement des problèmes. Toutefois, la présence de réponses parasites proches du mode principal ou de réponses d'amplitude relativement grande peut entraîner des problèmes d'oscillation au niveau de ces fréquences parasites.

Ces réponses parasites peuvent être à l'origine de caractéristiques fréquence-température, résistance-température et entraînement de fréquences anormales. Même de très petites perturbations de ce type peuvent nuire aux applications à oscillateurs contrôlés par une

tension (VCO). Il est plus difficile d'éliminer ces réponses parasites des résonateurs. Toutefois, ces résonateurs sont rarement à l'origine de problèmes, parce que la résistance de résonance parasite est en général plus grande que celle pour le mode principal. Les produits normalisés des fabricants impliquent des mesures de conception qui réduisent au minimum ces effets lorsqu'ils sont couplés à une conception d'oscillateur raisonnable.

Dans n'importe quelle application comportant des réponses parasites, il convient de considérer qu'il est possible que l'oscillateur démarre sur des réponses parasites. Dans une gamme de fréquences autour de la réponse principale, un des rapports suivants peut être spécifié:

$\frac{\text{résistance dynamique à la résonance parasite}}{\text{résistance dynamique à la résonance principale}}$ pour un résonateur à un port

$\frac{\text{niveau de réponse à la résonance parasite}}{\text{niveau de réponse à la résonance principale}}$ pour un résonateur à deux ports

Pour les résonateurs à deux ports, seules les résonances parasites qui satisfont à la condition de phase de la boucle de rétroaction de l'oscillateur doivent être considérées.

5.4 Matériaux de substrat et leurs caractéristiques

Différents types de substrats piézoélectriques sont disponibles pour être utilisés dans des résonateurs à OAS. Les substrats piézoélectriques pour des résonateurs à OAS sont choisis en tenant compte des éléments suivants:

- 1) vitesse de propagation (v_s);
- 2) coefficient de couplage (k_s^2);
- 3) coefficient de température de fréquence (CTF);
- 4) permittivité relative (ϵ_r);
- 5) pertes de propagation du matériau;
- 6) reproductibilité et fiabilité;
- 7) prix.

Les éléments 1) à 5) sont des constantes concernant principalement les matériaux. Les éléments 6) et 7) sont des conditions dépendant à la fois des matériaux et des techniques de fabrication du substrat. Plusieurs types de substrats ont été développés et utilisés en pratique.

Idéalement, on souhaite avoir un coefficient de couplage élevé et un coefficient de température nul. Actuellement, ce n'est pas possible. Un compromis de conception est donc nécessaire. On doit choisir un substrat conforme aux spécifications exigées. Les relations entre les constantes des matériaux et les caractéristiques des résonateurs sont décrites ci-dessous.

a) Vitesse de propagation

La vitesse de propagation v_s (m/s) est un facteur important qui détermine la gamme de fréquences. La fréquence de résonance f_r (MHz) est donnée approximativement par:

$$f_r = v_s / (2d)$$

où d (μm) est la période spatiale du réseau. Pour une fréquence de résonance spécifiée, des vitesses plus petites nécessitent une période des doigts plus courte et par conséquent, une plus petite taille de puce. Une plus grande vitesse est souhaitable pour les résonateurs à haute fréquence, afin de faciliter la fabrication des TID. La vitesse de propagation pour un substrat pratique est généralement dans la gamme de 2 000 m/s à 5 000 m/s.

b) *Coefficient de couplage*

Le coefficient de couplage des OAS, k_s^2 , est le rapport de transformation entre l'énergie électrique et l'énergie mécanique (OAS). Le coefficient de couplage est le facteur principal qui détermine le rapport de capacité r . Quand le coefficient de couplage du substrat est assez grand, il est facile de concevoir un résonateur à OAS à faible rapport de capacité. Un rapport de capacité minimal réalisable est représenté par:

$$r_{\min} \approx \pi^2 / (8k_s^2)$$

c) *Coefficient température*

Cette caractéristique est déterminée principalement par le matériau piézoélectrique et les orientations du cristal. Le quartz de coupe Y et rotation (autour de la coupe ST) et le $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ présentent des caractéristiques fréquence-température paraboliques, mais avec d'autres matériaux piézoélectriques elles sont presque linéaires. La Figure 11 représente des caractéristiques fréquence-température pour différents matériaux de substrat communs.

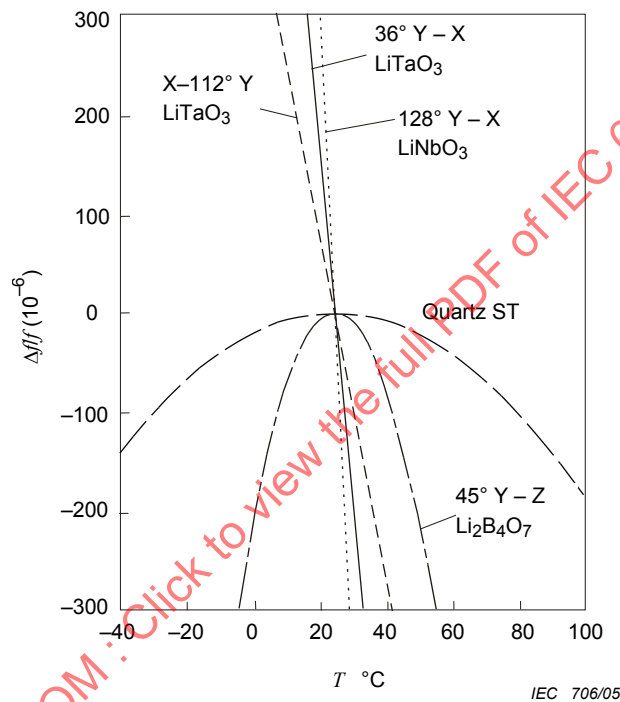


Figure 11 – Caractéristiques fréquence-température pour différents matériaux communs et leurs angles de coupe

Typiquement la dépendance entre fréquence et température est:

$$\frac{\Delta f}{f} = a \times (T - T_0) + b \times (T - T_0)^2$$

où

$\frac{\Delta f}{f}$ est la variation de fréquence relative;

T_0 est la température de changement de pente;

T est la température de fonctionnement;

a est le coefficient de température du premier ordre;

b est le coefficient de température du deuxième ordre.

Les valeurs typiques du coefficient de température sont énumérées dans le Tableau 1.

d) *Permittivité relative*

La permittivité du matériau piézoélectrique est un tenseur symétrique du deuxième ordre. La capacité statique pour le TID, C_0 , dépend directement de la permittivité du substrat.

e) *Pertes de propagation du matériau*

Le facteur de qualité pour le résonateur à OAS est une fonction de ses diverses pertes. La valeur de Q dépend des pertes de propagation du matériau (amortissement visqueux et charge de l'air), des pertes de propagation de surface (finition imparfaite de la surface), des pertes de conversion du mode volumique, des pertes de diffraction et autres pertes de fuite depuis les côtés des réflecteurs et des pertes ohmiques et de frottement des électrodes. Les pertes de propagation du matériau déterminent la limite maximale de Q , que l'on appelle facteur de qualité du matériau Q_m .

f) *Matériaux monocristallins typiques*

Les propriétés des substrats monocristallins dépendent de l'angle de coupe et de la direction de propagation des OAS, en raison de l'anisotropie du cristal. Les avantages des monocristaux est la reproductibilité, la fiabilité et les faibles pertes de propagation.

Toutefois, il est encore difficile d'obtenir un matériau qui offre simultanément un grand coefficient de couplage et un petit coefficient de température.

Des cristaux typiques et leurs angles de coupe recommandés pour les résonateurs à OAS sont énumérés dans le Tableau 1 avec les constantes des matériaux.

Tableau 1 – Propriétés des matériaux de substrat monocristallins

Matériau	Angle de coupe	Direction de propagation	Vitesse V_s	Coefficient de couplage k_s^2	Coefficient température		Permittivité relative ϵ_r
					a	b	
	Degrés	Degrés	m/s	%	$10^{-6}/K$	$10^{-9}/K^2$	
Quartz ST	42,75° Y	X	3 157	0,16	0	–34	4,5
Quartz LST	–75° Y	X	3 960	0,11	0	3 ^{ème} ordre	4,5
LiNbO ₃	Y	Z	3 488	4,82	–94	–	36,7
LiNbO ₃	128° Y	X	4 000	5,56	–74	–	39,1
LiNbO ₃	64° Y	X	4 742	11,3	–79	–	58,4
LiTaO ₃	X	112° Y	3 295	0,64	–18	–	44,0
LiTaO ₃	36° Y	X	4 178	4,8	–33	–	51,1
Li ₂ B ₄ O ₇	45° Y	Z	3 401	1	0	–270	9,6

5.5 Caractéristiques disponibles

a) *Gamme de fréquences*

La fréquence limite supérieure pour des résonateurs à OAS est déterminée par un fin pas de fabrication d (μm). La fréquence vaut $v_s/(2d)$ (MHz), où v_s (m/s) est la vitesse des OAS. La fréquence limite inférieure dépend de la restriction sur la taille de la puce. Les dimensions du boîtier et les tailles des tranches de substrat disponibles sont finies. Dans la pratique, le prix souhaité du résonateur détermine également la taille admissible de la puce. La gamme de fréquences typique pour des résonateurs à OAS est approximativement de 60 MHz à plusieurs GHz. Toutefois, cette limitation n'est jamais stricte.

b) *Facteur de qualité*

Le facteur de qualité maximal possible pour un résonateur à OAS conçu et traité idéalement est limité à Q_m décrit en 5.4 e). Q_m dépend de la fréquence et est approximativement exprimé par $Q_m = 10^7/f$ pour des matériaux de substrat typiques, où f

est la fréquence en MHz. On rapporte que des résonateurs à OAS atteignent Q_m à plusieurs fréquences. Toutefois, les résonateurs à OAS produits en masse utilisant des quartz de coupe ST présentent typiquement un facteur de qualité Q compris entre 15 000 et 20 000 à 100 MHz et de 10 000 à 600 MHz.

c) *Coefficient de température de fréquence*

Les caractéristiques température-fréquence de la fréquence de résonance pour des résonateurs à OAS sont étroitement liées au matériau du substrat. Toutefois, la contrainte mécanique sur le substrat (par exemple un agent adhésif), le TID et les réflecteurs en réseau affectent légèrement la dépendance à la température du substrat même.

Les caractéristiques température-fréquence pour les résonateurs à quartz et au $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ présentent une dépendance parabolique. La température, au niveau de la position supérieure de la courbe parabolique, s'appelle la température de changement de pente. Elle peut être choisie en sélectionnant un angle de coupe approprié du substrat. Elle se situe généralement dans la gamme de -20°C à 75°C , et elle est contrôlée à $\pm 10^\circ\text{C}$ d'une température particulière.

Les résonateurs à OAS faits d'autres matériaux offrent une relation température-fréquence linéaire. Le coefficient de température est également affecté par l'agent adhésif, le TID et les réflecteurs en réseau, mais il est négligeable par rapport au matériau même.

d) *Stabilité de longue durée*

Des variations des caractéristiques provoquées par le vieillissement ou la stabilité de longue durée des résonateurs à OAS sont indiquées par des variations de fréquence de résonance et par la dégradation du facteur de qualité. Ces variations sont influencées par

- une contamination de la surface de la puce du résonateur;
- une contrainte mécanique, par exemple par des différences de dilatation thermique entre le substrat du résonateur et le boîtier;
- un niveau d'excitation trop élevé.

Dans les deux premiers cas, les variations trouvent leur origine dans le dispositif à résonateur à OAS même, et elles peuvent se produire dans de nombreuses occasions. Il est bien connu que certains d'entre elles se produisent pendant le processus de fabrication. Des exemples sont le processus de fabrication des puces nues, le processus de liaison des puces utilisant un agent adhésif, le processus d'étanchéité du boîtier, etc.

Dans le troisième cas, les variations des caractéristiques se produisent dans une condition de surexcitation et dépendent de la conception de circuit de l'oscillateur. Un niveau excessif d'excitation détériore les électrodes dans le résonateur à OAS et raccourcit sa durée de vie. Ce phénomène est décrit en 5.5 e). Habituellement, en prenant soin de limiter le niveau d'excitation, la stabilité de longue durée est de plusieurs parties par million/année ou moins.

e) *Tenue en puissance*

La contrainte mécanique répétée excessive peut induire des détériorations d'électrodes, comme des vides et des bosses. Ceci provoque des décalages de la fréquence de résonance et une dégradation du facteur de qualité. Pour qu'un résonateur fonctionne sur une période assez longue pour la plupart des applications, le niveau d'excitation doit être inférieur à plusieurs milliwatts.

Pour améliorer la durabilité de la tenue aux puissances élevées, les électrodes d'aluminium sont dopées d'une petite quantité de cuivre ou de titane. On utilise également des électrodes d'aluminium créées par croissance épitaxiale sur le quartz. Elles toutes sont conçues pour être pour contrôler efficacement le joint de grain dans une mince couche d'aluminium déposée. Ce niveau de limitation dépend de la fréquence, des températures ambiantes, des constitutions des électrodes et de la conception du dispositif.

f) *Stabilité de courte durée pour un oscillateur à OAS*