

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61019-2

Première édition
First edition
1995-06

**Résonateurs à ondes acoustiques
de surface (OAS)**

**Partie 2:
Guide d'emploi**

Surface acoustic wave (SAW) resonators

**Part 2:
Guide to the use**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61019-2: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61019-2

Première édition
First edition
1995-06

**Résonateurs à ondes acoustiques
de surface (OAS)**

**Partie 2:
Guide d'emploi**

Surface acoustic wave (SAW) resonators

**Part 2:
Guide to the use**

© IEC 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Considérations techniques	12
4 Considérations générales sur les résonateurs à OAS	12
4.1 Structure fondamentale	12
4.2 Principe de fonctionnement	14
5 Caractéristiques des résonateurs à OAS	16
5.1 Caractéristiques du réflecteur	16
5.2 Caractéristiques du résonateur à OAS	22
5.3 Modes parasites	30
5.4 Matériaux pour les substrats et leurs caractéristiques	32
5.5 Caractéristiques disponibles	36
6 Guide d'emploi	40
6.1 Circuits d'oscillateur et condition d'oscillation	40
6.2 Remarques pratiques pour l'application dans l'oscillateur	46
7 Liste de contrôle pour l'élaboration des spécifications pour un résonateur à OAS	48
Annexe A – Bibliographie	56

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Technical considerations	13
4 Fundamentals of SAW resonators	13
4.1 Basic structure	13
4.2 Principle of operation	15
5 SAW resonator characteristics	17
5.1 Reflector characteristics	17
5.2 SAW resonator characteristics	23
5.3 Spurious modes	31
5.4 Substrate materials and their characteristics	33
5.5 Available characteristics	37
6 Application guide	41
6.1 Oscillator circuits and oscillation condition	41
6.2 Practical remarks for oscillator applications	47
7 Checklist of SAW resonator parameters for drawing up specifications	49
Annex A – Bibliography	56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSONATEURS À ONDES ACOUSTIQUES DE SURFACE (OAS) –

Partie 2: Guide d'emploi

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 1019-2 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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
49/277/DIS	49/299/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La CEI 1019 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS)*

- Partie 1: Informations générales, valeurs normalisées et conditions d'essais
- Partie 2: Guide d'emploi
- Partie 3: Encombrements normalisés et connexions de sorties

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SURFACE ACOUSTIC WAVE (SAW) RESONATORS –

Part 2: Guide to the use

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 1019-2 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

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

DIS	Report on voting
49/277/DIS	49/299/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.

IEC 1019 consists of the following parts, under the general title: *Surface acoustic wave (SAW) resonators*

- Part 1: General information, standard values and test conditions
- Part 2: Guide to the use
- Part 3: Standard outlines and lead connections

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

Cette partie de la CEI 1019 est un guide pratique des résonateurs à OAS pour l'utilisation dans les télécommunications, dans les équipements radio et les produits de consommation. On se reportera à la CEI 1019-1-1 et à la CEI 1019-1-2 pour les informations générales, les valeurs normalisées et les conditions d'essais.

Les résonateurs à OAS sont caractérisés par leurs petites dimensions, leur faible poids, ils ne nécessitent pas de réglage et leur stabilité est élevée. En outre, la fréquence de fonctionnement des résonateurs à OAS s'étend dans les gammes VHF et UHF (30 MHz à 3 000 MHz).

La présente partie a été établie 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 ce guide.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61019-2:1995

Without 2W

INTRODUCTION

This part of IEC 1019 gives practical guidance to the use of SAW resonators which are used in telecommunications, radio equipments and consumer products. Refer to IEC 1019-1-1 and IEC 1019-1-2 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 (30 MHz to 3 000 MHz).

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.

Withd 2019-2-1995
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61019-2-1995

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 convertisseurs vidéo à radiofréquence, oscillateurs locaux dans les convertisseurs des TV couleur, appareillage de mesure, télécommande, etc. Bien que les résonateurs à OAS soient aussi utilisés pour les filtres à bande étroite, le domaine d'application de ce guide est limité aux résonateurs à OAS destinés à l'emploi dans les oscillateurs.

Ce guide n'a pas pour but de développer des notions théoriques, ni de couvrir tous les cas qui peuvent se présenter en pratique. Ce guide attire l'attention sur quelques-unes des questions fondamentales que l'utilisateur devrait examiner avant de commander un résonateur à OAS pour une application nouvelle. Une telle procédure servira de garantie à l'utilisateur pour un fonctionnement satisfaisant.

Les spécifications normalisées, telles que celles de la CEI, dont ce guide fait partie, ainsi que les spécifications nationales ou les spécifications particulières publiées par les fabricants, détermineront les combinaisons possibles 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 caractéristiques normalisées. On ne saurait trop insister sur le fait que l'utilisateur devrait, chaque fois que cela est possible, choisir ses 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'emploi des résonateurs normalisés. Tel est particulièrement le cas dans le choix de la fréquence nominale.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 1019. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 1019 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 68-1: 1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*
Amendement 1 (1992)

CEI 68-2-1: 1990, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai A: Froid*

CEI 68-2-2: 1974, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai B: Chaleur sèche*
Amendement 1 (1993)

CEI 68-2-3: 1969, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ca: Essai continu de chaleur humide*

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 guide 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 normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 1019. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 1019 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 68-1: 1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
Amendment 1 (1992)

IEC 68-2-1: 1990, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test A: Cold*

IEC 68-2-2: 1974, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test B: Dry heat*
Amendment 1 (1993)

IEC 68-2-3: 1969, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ca: Damp heat, steady state*

CEI 68-2-6: 1982, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 68-2-7: 1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ga et guide: Accélération constante*
Amendement 1 (1986)

CEI 68-2-10: 1988, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai J et guide: Moisissures*

CEI 68-2-13: 1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai M: Basse pression atmosphérique*

CEI 68-2-14: 1984, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai N: Variations de température*
Amendement 1 (1986)

CEI 68-2-17: 1978, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Q: Etanchéité*
Amendement 4 (1991)

CEI 68-2-20: 1979, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai T: Soudure*
Amendement 2 (1987)

CEI 68-2-21: 1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*
Amendement 2 (1991)

CEI 68-2-27: 1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 68-2-29: 1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Eb et guide: Secousses*

CEI 68-2-30: 1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Db et guide: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12+12 heures)*
Amendement 1 (1985)

CEI 1019-1-1: 1990, *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) – Première partie: Informations générales, valeurs normalisées et conditions d'essais – Section 1: Informations générales et valeurs normalisées*

CEI 1019-1-2: 1993, *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) – Partie 1: Informations générales, valeurs normalisées et conditions d'essais – Section 2: Conditions d'essais*

CEI 1019-3: 1991, *Résonateurs à ondes acoustiques de surface (OAS) – Troisième partie: Encombrements normalisés et connexions des sorties*

IEC 68-2-6: 1982, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)*

IEC 68-2-7: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ga and guidance: Acceleration, steady state*
Amendment 1 (1986)

IEC 68-2-10: 1988, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test J and guidance: Mould growth*

IEC 68-2-13: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 68-2-14: 1984, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*
Amendment 1 (1986)

IEC 68-2-17: 1978, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*
Amendment 4 (1991)

IEC 68-2-20: 1979, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test T: Soldering*
Amendment 2 (1987)

IEC 68-2-21: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*
Amendment 2 (1991)

IEC 68-2-27: 1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 68-2-29: 1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Eb and guidance: Bump*

IEC 68-2-30: 1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12+12 hour cycle)*
Amendment 1 (1985)

IEC 1019-1-1: 1990, *Surface acoustic wave (SAW) resonators – Part 1: General information, standard values and test conditions – Section 1: General information and standard values*

IEC 1019-1-2: 1993, *Surface acoustic wave (SAW) resonators – Part 1: General information, standard values and test conditions – Section 2: Test conditions*

IEC 1019-3: 1991, *Surface acoustic wave (SAW) resonators – Part 3: Standard outlines and lead connections*

3 Considérations techniques

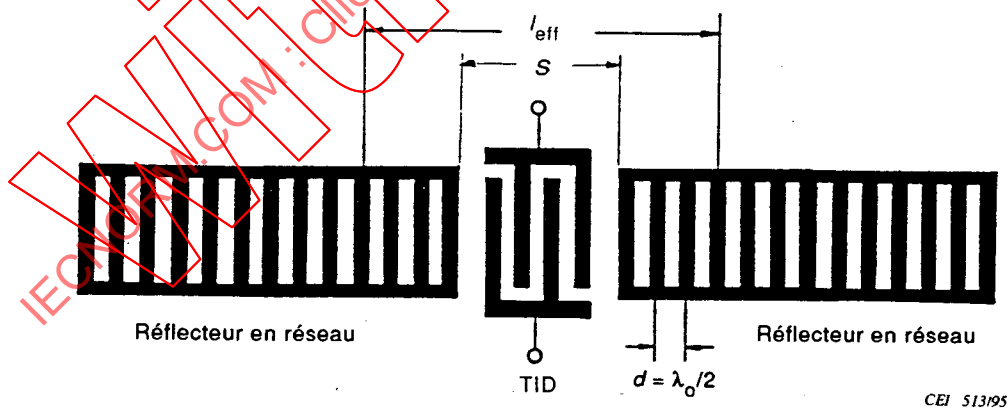
Il est du plus grand intérêt pour l'utilisateur que les caractéristiques d'un résonateur satisfassent à une spécification particulière. Il convient que le choix du circuit de l'oscillateur et du résonateur à OAS, pour satisfaire à cette spécification, soit agréé par l'utilisateur et le fabricant.

Les caractéristiques du résonateur sont habituellement exprimées par la fréquence de résonance, la résistance dynamique, le facteur de qualité et la capacité parallèle (pour résonateurs à une porte) et par la fréquence centrale, l'affaiblissement d'insertion, le facteur de qualité avec la charge et celui sans la charge, la capacité d'entrée et la capacité de sortie (pour résonateurs à deux portes). Une méthode normalisée pour la mesure des caractéristiques de résonateurs est décrite en 4.1 et 4.2 de la CEI 1019-1-2. On doit satisfaire aux spécifications entre les températures minimales et maximales de la gamme de températures de fonctionnement spécifiée ainsi qu'avant et après les essais d'environnement.

4 Considérations générales sur les résonateurs à OAS

4.1 Structure fondamentale

Les résonateurs à OAS comprennent des transducteurs interdigités (TID) et des réflecteurs en réseau qui sont placés sur la surface d'un substrat piézoélectrique. Dans la plupart des cas les réflecteurs en réseau sont fabriqués d'une couche mince métallique (telle que Al, Au) tandis que, dans certains cas, ils sont construits avec des sillons périodiques. Le substrat est soudé par collage dans l'enveloppe et le TID est connecté électriquement aux sorties par les fils soudés. Il y a deux configurations de résonateurs à OAS. L'une est le résonateur à OAS à une porte. L'autre est le résonateur à OAS à deux portes. Le premier résonateur possède un TID unique entre deux réflecteurs comme indiqué à la figure 1. L'autre a deux TID entre deux réflecteurs comme indiqué à la figure 2. Sur ces figures, l_{eff} est la longueur de cavité du résonateur décrit en 5.2 c).



CEI 513/95

Figure 1 – Configuration d'un résonateur à OAS à une porte

3 Technical considerations

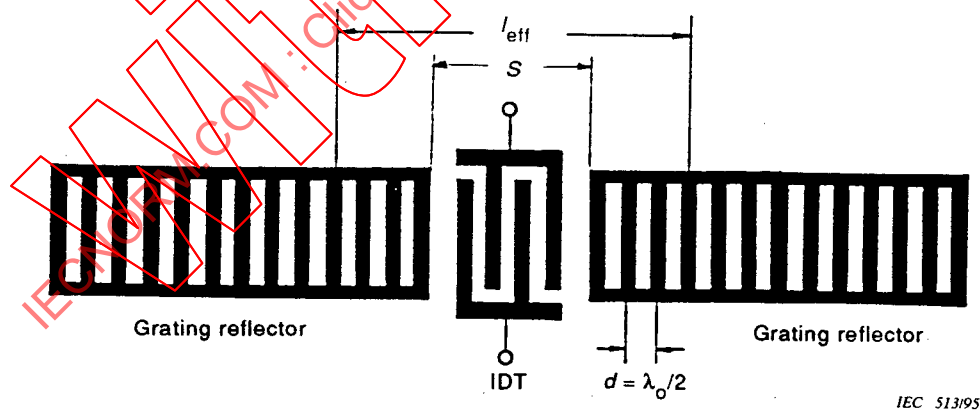
It is of prime interest to a user that the resonator characteristics should satisfy particular specifications. The selection of oscillating circuits and SAW resonators to meet such specifications should be a matter of agreement between user and manufacturer.

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 4.1 and 4.2 of IEC 1019-1-2. 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).



IEC 513/95

Figure 1 – One-port SAW resonator configuration

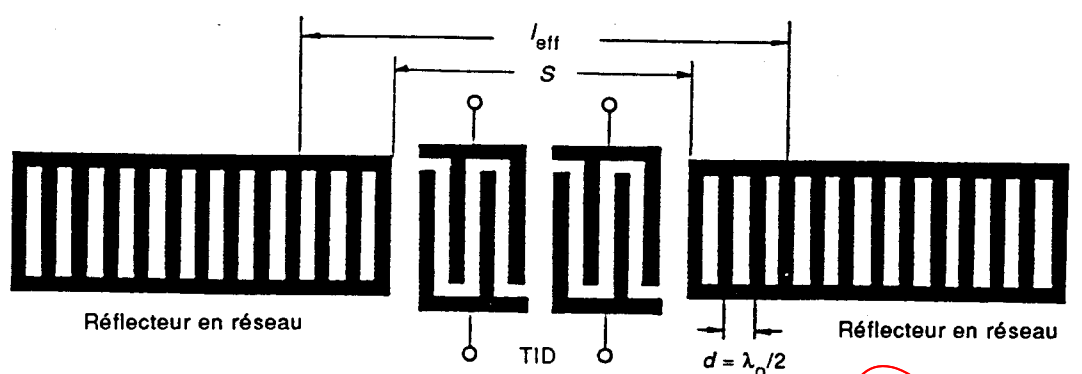


Figure 2 – Configuration d'un résonateur à OAS à deux portes

4.2 Principe de fonctionnement

Le phénomène de résonance pour les résonateurs à OAS est obtenu en localisant l'énergie de vibration de l'OAS à l'intérieur des réflecteurs en réseau. L'OAS, excitée par le champ de courant alternatif entre les doigts d'électrode d'un TID se propage au-dehors du TID pour être réfléchi par les réflecteurs en réseau.

Les réflecteurs en réseau font avancer la perturbation à l'OAS due à la discontinuité de l'impédance électrique ou mécanique. Lorsque l'OAS est incidente sur de tels réflecteurs en réseau, l'onde incidente est graduellement convertie en onde réfléchie. Bien que la quantité de perturbation par unité d'élément réfléchissant puisse être faible, un grand nombre de tels éléments, arrangés périodiquement, réfléchissent l'OAS en phase et maximisent la réflexion cohérente.

Ces configurations en réseau peuvent former une barrière réfléchissante effective en créant l'onde stationnaire entre les réflecteurs et provoquer la résonance avec un facteur de qualité Q très élevé. La figure 3 montre la distribution de déplacement pour cette onde stationnaire pour un résonateur à OAS à une porte. Comme il est montré sur cette figure, l'énergie de l'OAS est maximale au voisinage du centre d'un TID et s'amortit graduellement vers les bords des réflecteurs en réseau. La fréquence de résonance f_r est approximativement déterminée 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.

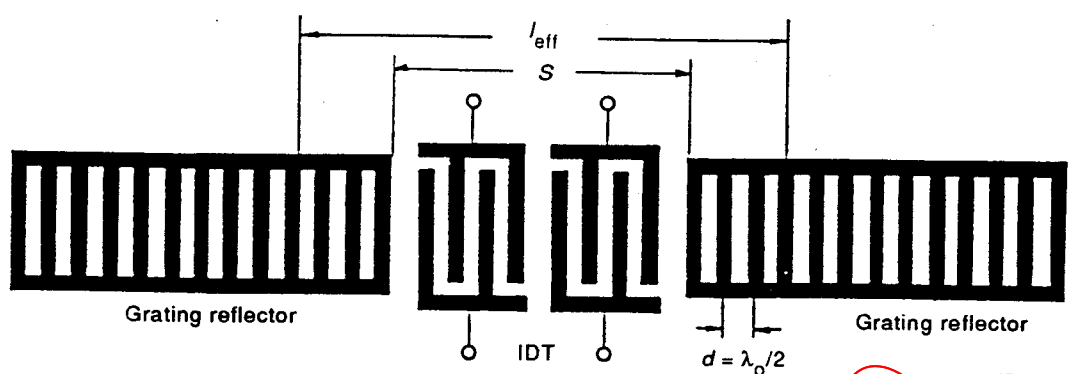


Figure 2 – Two-port SAW resonator configuration

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:

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

where

v_s is the SAW propagation velocity;

d is the distance between electrode centres;

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

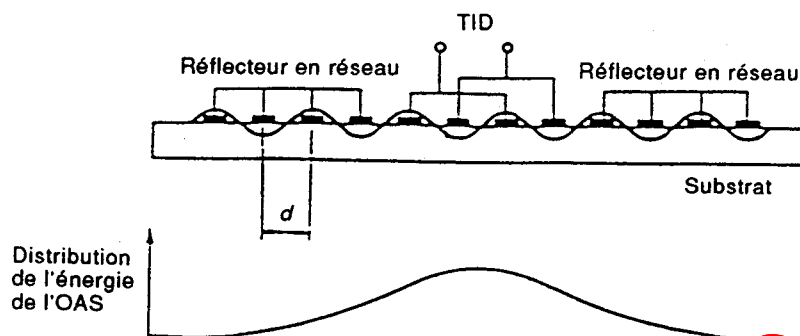


Figure 3 – Diagramme de l'onde stationnaire et distribution d'énergie de l'OAS

5 Caractéristiques des résonateurs à OAS

5.1 Caractéristiques du réflecteur

Le réflecteur pour résonateurs à OAS consiste en un réseau d'éléments réfléchissants, arrangés périodiquement, nommé réflecteur en réseau. Comme il est montré à la figure 4, les éléments possibles d'un réseau sont:

- a) bandes métalliques ou arêtes diélectriques;
- b) sillons;
- c) bandes à implantation ionique ou pistes métalliques diffusées.

Par exemple, une bande métallique d'aluminium sur du quartz de coupe ST, dont l'épaisseur h est égale à 1 % de la longueur d'onde $\lambda(h/\lambda_0)$ et dont la largeur w est égale à la demi-période ε spatiale ($w=d/2=\lambda_0/4$), a un faible coefficient de réflexion approximativement égal à 0.5 %. Un sillon de profondeur égale à 1 % a presque le même ε . Cette perturbation périodique provoque une réflexion effective d'énergie de l'OAS, si sa longueur d'onde est égale à deux fois sa périodicité.

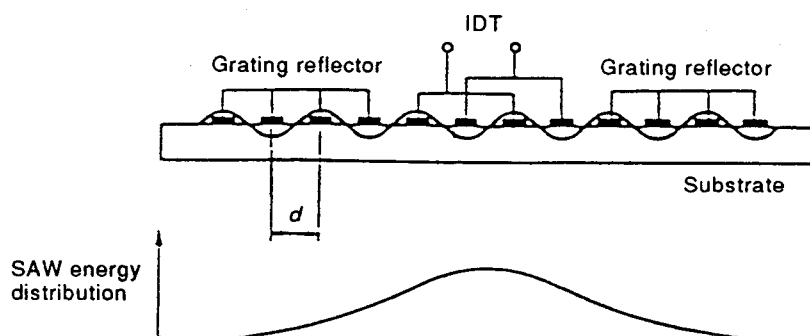


Figure 3 – Standing wave pattern and SAW energy distribution

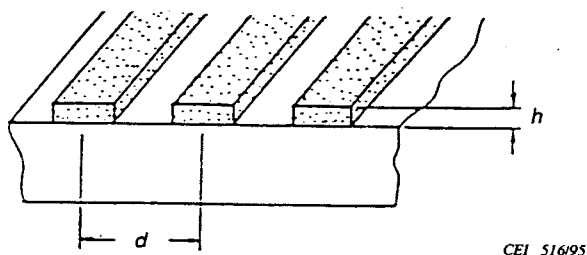
5 SAW resonator characteristics

5.1 Reflector characteristics

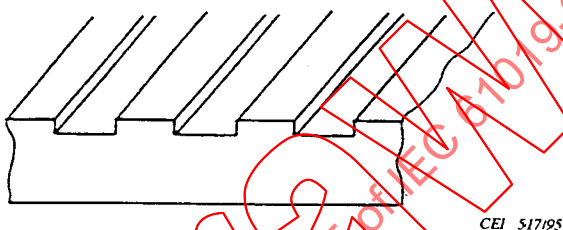
The reflector for SAW resonators consists of a periodically arranged array of reflective elements, called a grating reflector. As cross-sections show in figure 4, possible array elements are:

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

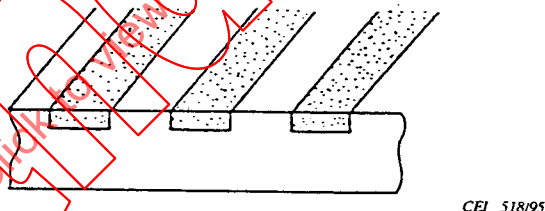
For example, an aluminum strip on ST-cut quartz, whose thickness h is 1 % of wave length $\lambda(h/\lambda_0)$ and whose width w is half the spatial period ($w=d/2=\lambda_0/4$), has a small reflection coefficient ϵ of approximately 0,5 %. A groove with 1 % depth has almost the same ϵ . This periodic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



4a- Bandes métalliques ou arêtes diélectriques



4b - Sillons



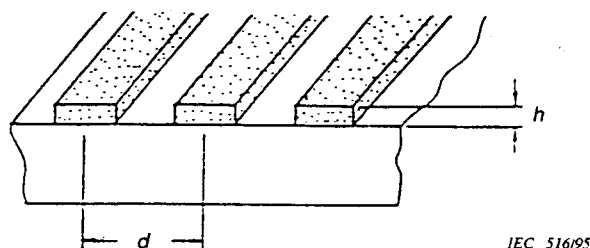
4c - Bandes à implantation ionique ou pistes métalliques diffusées

Figure 4 – Configurations d'un réflecteur en réseau

Un réflecteur en réseau sans pertes avec un nombre fini d'éléments de réseau possède une gamme de fréquences d'une réflexion presque totale appelée la bande atténuée. La largeur de la bande atténuée relative par rapport à la fréquence centrale est égale à $2\varepsilon/\pi$, où ε est le coefficient de réflexion pour un seul élément. La figure 5 montre la dépendance de réflectance totale de la fréquence normalisée $|\Gamma|$ pour un réflecteur en réseau avec le nombre fini N_R des éléments en réseau. Théoriquement, la valeur maximale de réflectance est exprimée par:

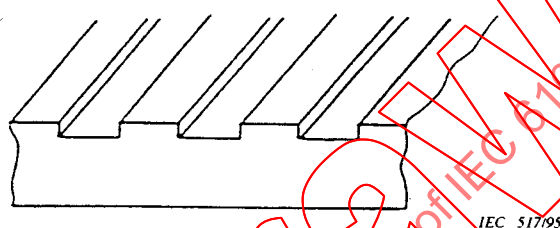
$$|\Gamma|_{\max} = \tanh(N_R \times \varepsilon)$$

à la fréquence centrale f_0 de la bande atténuée. Une réflectance plus importante provoque un facteur de qualité Q d'un résonateur à OAS plus élevé en raison de la diminution de fuite d'énergie de l'OAS stockée dans la cavité entre deux réflecteurs en réseau.



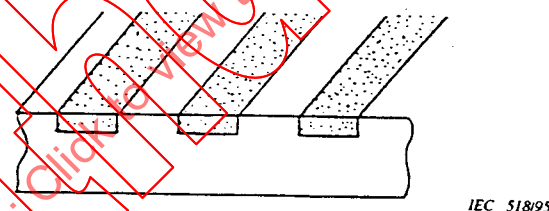
IEC 516/95

4a – Metal strips or dielectric ridges



IEC 517/95

4b – Grooves



IEC 518/95

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.

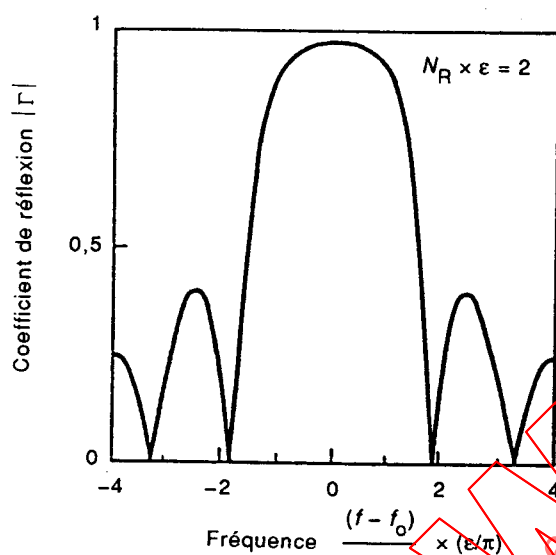


Figure 5 – Réponse de réflectance pour un réflecteur en réseau

A partir de l'équation précédente il est évident que $N_R \times \epsilon$ doit être maximum pour obtenir la plus grande réflectance. L'augmentation du nombre des éléments du réflecteur N_R est le moyen le plus simple pour l'obtention d'une réflectance plus élevée. Cependant, dans la pratique, un nombre plus grand d'éléments, c'est-à-dire une longueur de réflecteur plus grande, exige une plus grande dimension du chip pour montage d'un résonateur à OAS, ce qui signifie que le résonateur à OAS sera coûteux. En général, $N_R \times \epsilon = 4$ est adéquat pour les résonateurs à OAS utilisés dans la pratique.

Pour obtenir une plus grande réflectance, l'augmentation de réflexion à partir d'un élément est aussi efficace. Pour obtenir cela, il convient que les bandes soient plus épaisses ou les sillons plus profonds. Dans la plupart des cas, ϵ est proportionnel à l'épaisseur ou à la profondeur h/λ_0 . Les bandes plus épaisses ou les sillons plus profonds exigent un nombre inférieur d'éléments N_R pour obtenir le même coefficient de réflexion et pour réaliser une bande atténuée plus large. Cependant, un réflecteur ayant un important h/λ_0 a les désavantages suivants:

- la perte de conversion du mode de l'onde acoustique de surface en onde de volume tend à augmenter, ce qui peut détériorer le facteur de qualité;
- l'écart de la fréquence centrale dans la bande atténuée à partir de la fréquence $v_s/(2d)$ augmente, parce que la fréquence centrale est une fonction du carré de h/λ_0 . Cela peut causer des difficultés lors de production en série.

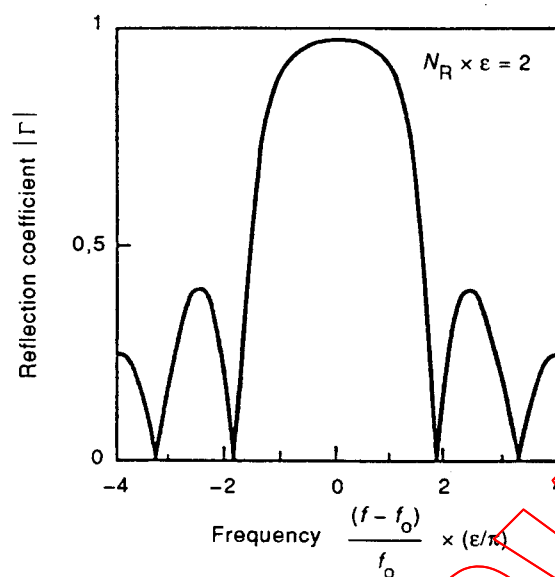


Figure 5 – Reflectivity response for grating reflector

For obtaining a greater reflectivity, it is clear, from the preceding equation, that $N_R \times \epsilon$ 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, $N_R \times \epsilon = 4$ 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:

- a) the mode conversion loss from SAW to bulk wave tends to increase, which may degrade the quality factor;
- b) 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.

5.2 Caractéristiques du résonateur à OAS

a) Résonateurs à OAS à une porte

Le résonateur à OAS à une porte possède des caractéristiques de transmission montrées à la figure 6.

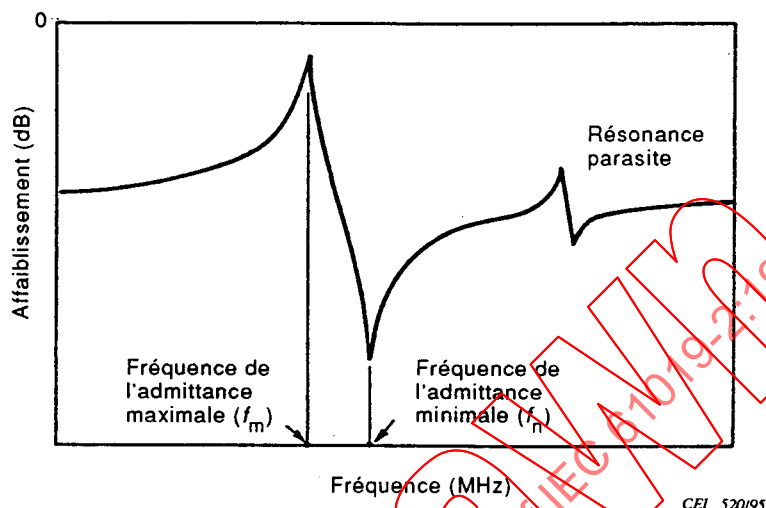


Figure 6 – Caractéristiques de fréquence typique d'un résonateur à OAS à une porte inséré en série dans une ligne de transmission

Le circuit équivalent montré à la figure 7 représente la résonance de ce résonateur à OAS à une porte. Pour comparer des résonateurs à OAS fabriqués avec des matériaux piézoélectriques différents, on peut utiliser le facteur de mérite $M = Q/r$ associé au circuit équivalent. Par exemple, les résonateurs à OAS sur un substrat de quartz ont un facteur de qualité Q élevé et un important r , tandis que ces deux valeurs pour des résonateurs à OAS sur un substrat de LiTaO_3 de coupe X sont plus basses. Ces deux résonateurs ont des valeurs de facteur de mérite analogues. La prise en compte du facteur de qualité Q ou du rapport de capacité r est insuffisante pour établir une comparaison.

Le circuit équivalent à 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 respectivement une réactance série équivalente et une résistance série équivalente. L'influence de la fréquence pour ces valeurs est montrée à la figure 8, où la valeur de X_e/R_e atteint le maximum à la moyenne arithmétique des fréquences de résonance et d'antirésonance de la susceptance nulle.

5.2 SAW resonator characteristics

a) One-port SAW resonators

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

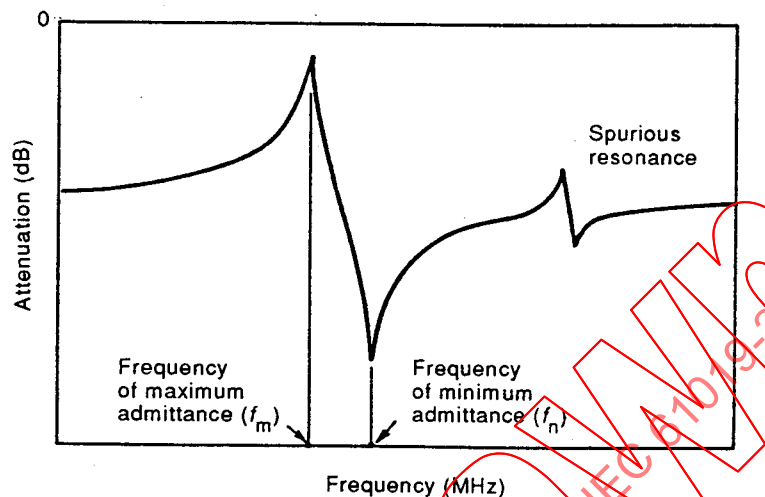
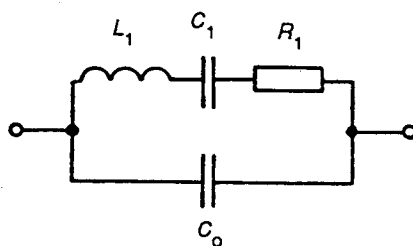


Figure 6 – Typical frequency characteristics for a one-port SAW resonator, inserted into a transmission line in series

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 LiTaO_3 are both smaller. Both resonators have similar figure of merit values. Considering only Q or the capacitance ratio r is insufficient for purposes of comparison.

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.



CEI 521/95

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

$$Q = 2\pi f_s L_1 / R_1 : \text{facteur de qualité}$$

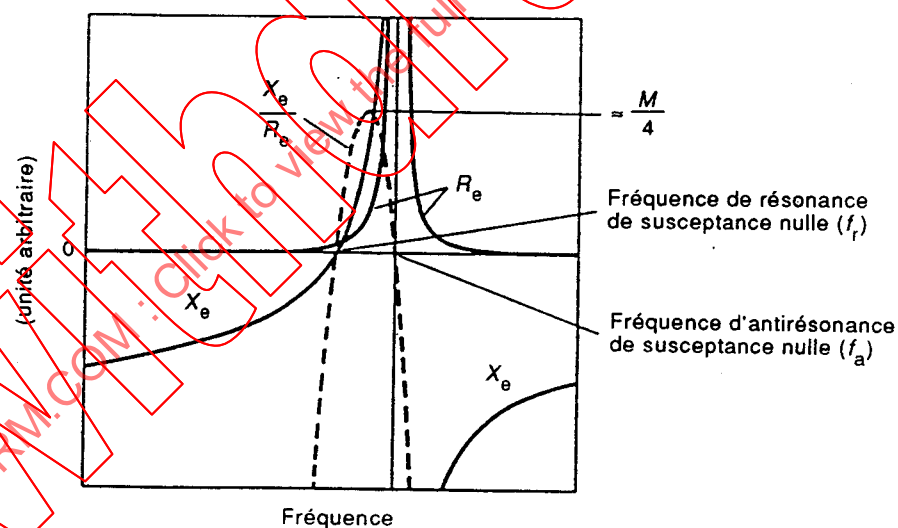
$$r = C_o / C_1 : \text{rapport des capacités}$$

$$M = Q/r : \text{facteur de mérite}$$

$$L_1, C_1, R_1 = \text{inductance, capacitance et résistance dynamiques}$$

$$C_o = \text{capacité statique}$$

Figure 7 – Circuit équivalent d'un résonateur à une porte



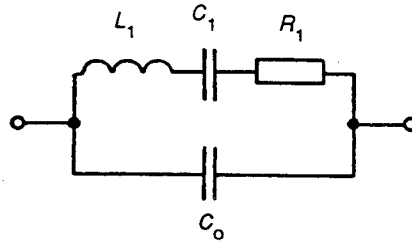
CEI 522/95

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

La valeur maximale peut être dérivée à partir d'un circuit équivalent comme:

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

Pour atteindre l'oscillation plus facilement, il convient que les résonateurs aient une réactance de facteur de qualité élevée. Par conséquent, le facteur de mérite est adéquat pour comparer les résonateurs à OAS.



IEC 521/95

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

$Q = 2\pi f_s L_1 / R_1$: quality factor

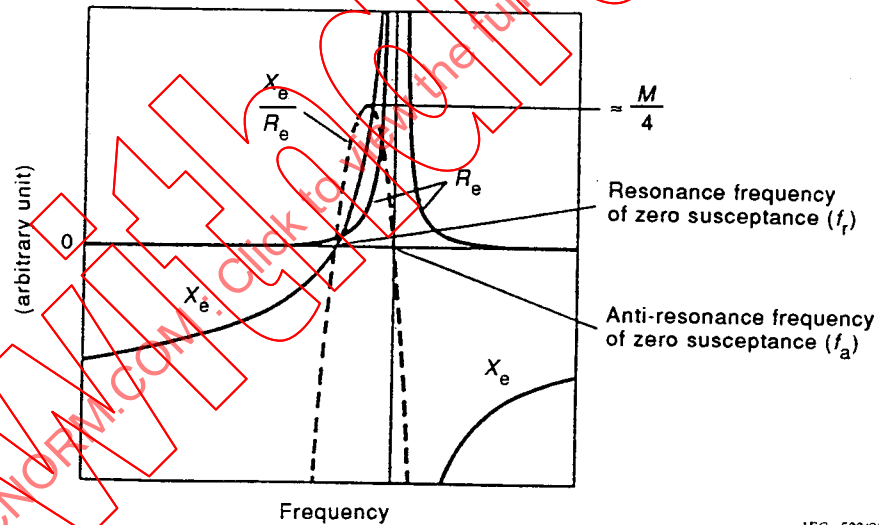
$r = C_0 / C_1$: capacitance ratio

$M = Q/r$: figure of merit

L_1, C_1, R_1 = motional inductance, capacitance and resistance

C_0 = static capacitance

Figure 7 – Equivalent circuit for a one-port resonator



IEC 522/95

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:

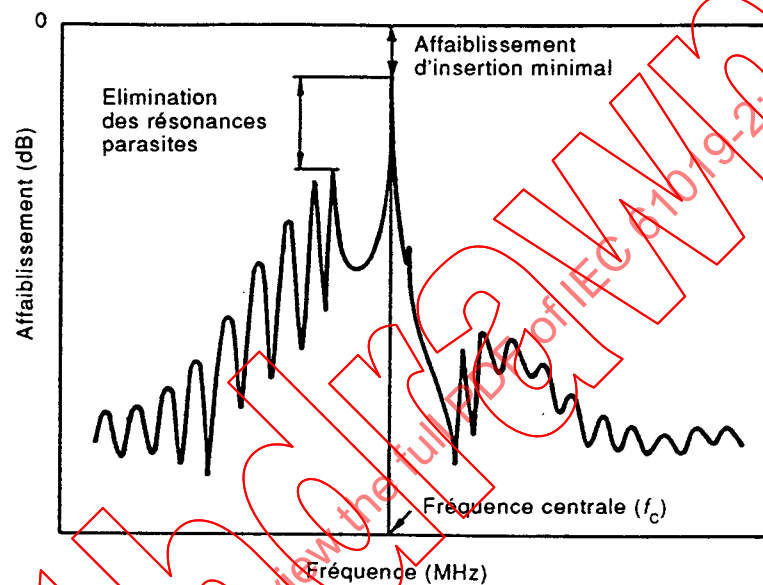
$$(X_e/R_e)_{\max} \approx (Q/r) / 4$$

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

L'impédance du résonateur est inversement proportionnelle à la construction de l'ouverture. Cependant, un résonateur avec une ouverture trop étroite tend à augmenter r , en raison de la capacité parasite, et à détériorer le facteur de qualité à cause de la perte de diffraction. D'autre part, un résonateur avec une ouverture trop large possède un facteur de qualité relativement bas à cause de la résistance des électrodes.

b) *Résonateurs à OAS à deux portes*

Les caractéristiques de transmission d'un résonateur à deux portes sont montrées à la figure 9.



CEI 523/95

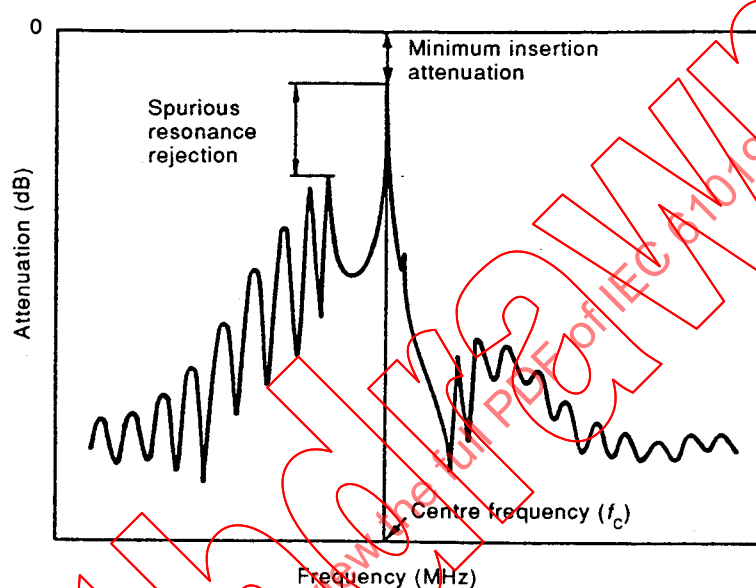
Figure 9 – Caractéristiques de l'atténuation de transmission et de résonance parasite pour un résonateur à deux portes

Le circuit équivalent d'un résonateur à OAS à deux portes au voisinage de la fréquence centrale est montré à la figure 10. Il consiste en un bras dynamique constitué par une inductance dynamique (L_1), une capacité dynamique (C_1) et une résistance dynamique (R_1) en série, deux capacités parallèles (C_{IN} et C_{OUT}) shuntant la porte d'entrée et celle de sortie et un transformateur idéal. Le rapport de spires d'un transformateur donné par ϕ , est dérivé des structures des transducteurs d'entrée et de sortie. Lorsque les deux structures sont les mêmes, la valeur de ϕ est égale à l'unité; le type avec déphasage de 0° est exprimé comme $\phi=1$ et le type avec déphasage de 180° est exprimé comme $\phi=-1$. Les résonateurs à OAS à deux portes avec des impédances d'entrée et de sortie différentes ont une valeur de $|\phi|$ qui n'est pas égale à l'unité.

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

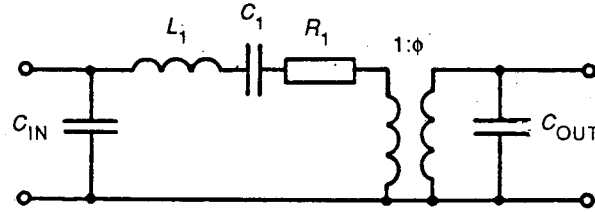
Two-port resonator transmission characteristics are shown in figure 9.



IEC 523/95

Figure 9 – Insertion attenuation and spurious response characteristics for 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. 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.



CEI 524/95

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 portes

Pour les résonateurs à deux portes, il n'y pas de comparaison évidente comme le facteur de mérite pour les résonateurs à une porte. Les résonateurs qui oscillent facilement sont ceux qui ont de faibles pertes dans un circuit de fonctionnement spécifique avec la transition de phase appropriée de 0° ou 180° . Pour de faibles pertes, une faible résistance dynamique R_1 est essentielle. Dans la plupart des cas, un résonateur ayant une faible impédance (C_{IN} et C_{OUT} sont plus élevées) possède de plus faibles pertes.

c) Paramètres du circuit équivalent

Les paramètres du circuit équivalent d'un résonateur à OAS à une porte peuvent être représentés de la manière suivante, lorsque la réflexion de l'OAS aux doigts d'un TID est négligée:

$$L_1 = \frac{l_{eff}/\lambda_o}{4f_o |\Gamma|} \times R_a$$

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

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

$$C_o = N \times w (1 + \epsilon_r) \times \epsilon_o$$

où $R_a = \frac{1}{8 k_s^2 f_o N C_o}$ est la résistance de radiation d'un TID à f_o ;

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

N est le nombre de paires de doigts;

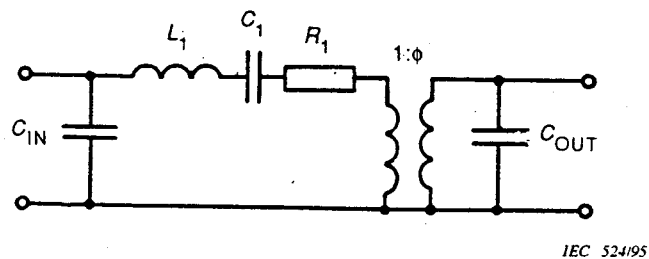
w est l'ouverture;

k_s^2 est le coefficient de couplage de l'OAS;

ϵ_r est la permittivité relative du substrat piézoélectrique;

ϵ_o est la permittivité du vide;

Γ est le coefficient de réflexion d'un réflecteur;



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 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:

$$L_1 = \frac{l_{eff}/\lambda_o}{4f_o |\Gamma|} \times R_a$$

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

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

$$C_o = N \times w (1 + \epsilon_r) \times \epsilon_o$$

where:

$$R_a = \frac{1}{8 k_s^2 f_o N C_o} \quad \text{is the IDT radiation resistance at } f_o;$$

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

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_o is the permittivity of vacuum;

Γ is the reflection coefficient of a reflector;

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

l_{eff} est la longueur de cavité d'un résonateur montrée aux figures 1 et 2 ($l_{\text{eff}} \approx S + \lambda_0/(2\epsilon)$), où S est la séparation entre les réflecteurs en réseau.

Pour les résonateurs à deux portes C_0 doit être remplacée par C_{IN} ou C_{OUT} respectivement. Les autres équations sont les mêmes que les équations données ci-dessus.

5.3 Modes parasites

Les résonateurs à OAS ont beaucoup de modes parasites différents. Le premier type comprend les modes de résonance de l'OAS d'ordre élevé, appelés modes longitudinaux et modes transversaux. Les autres types de modes de l'OAS tels les OAS de fuite, SSBW, les ondes de Love peuvent être excités par le TID. D'autres types de mode sont les modes des ondes de volume. Les figures 6 et 9 montrent respectivement les caractéristiques typiques des modes parasites des résonateurs à une porte et à deux portes. Ces modes parasites peuvent être réduits en appliquant plusieurs techniques aux résonateurs.

Lorsqu'on utilise les résonateurs à OAS en oscillateur, ces modes indésirables entraînent peu de difficultés. Cependant, si des résonances indésirables près du mode utilisé ou des résonances d'amplitude relativement grande se produisent, des difficultés d'oscillation peuvent apparaître à ces fréquences indésirables.

Ces réponses parasites peuvent avoir pour résultat des caractéristiques température-fréquence, température-résistance et variation de fréquence anormales. Même de très petites perturbations de ce type peuvent avoir des effets néfastes pour l'application en VCO (oscillateur commandé par la tension). Il est plus difficile d'éliminer ces réponses parasites des résonateurs. Cependant, ces résonateurs procurent rarement des ennuis parce que, en général, la résistance de résonance parasite est plus grande que celle du mode principal. Les productions normalisées des fabricants comportent des éléments de construction qui minimisent ces effets, en les associant avec des oscillateurs convenablement conçus.

Dans chaque application où il y a des réponses parasites, il est nécessaire de prendre en considération le fait que l'oscillateur puisse démarrer sur les réponses parasites. Dans une gamme de fréquence de part et d'autre de la réponse principale on peut utiliser l'un des rapports suivants:

$\frac{\text{résistance dynamique à la résonance parasite}}{\text{résistance dynamique à la résonance utilisée}}$	pour un résonateur à une porte
ou	
$\frac{\text{niveau de réponse à la résonance parasite}}{\text{niveau de réponse à la résonance utilisée}}$	pour un résonateur à deux portes

Pour les résonateurs à deux portes, seules les résonances parasites qui remplissent la condition de phase d'un circuit à réaction d'un oscillateur doivent être considérées.

λ_o is the SAW wavelength at the centre frequency;

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

For two-port SAW resonators, C_o 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 one-port resonator
or	
$\frac{\text{spurious resonance response level}}{\text{main resonance response level}}$	for 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 Matériaux pour les substrats et leurs caractéristiques

Différentes sortes de substrats piézoélectriques sont disponibles pour l'application dans les résonateurs à OAS. Les substrats piézoélectriques pour résonateurs à OAS sont choisis en prenant en considération les points suivants:

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

Les points 1) à 5) sont les constantes concernant principalement les matériaux. Les points 6) et 7) sont des conditions dépendant non seulement des matériaux, mais aussi des techniques de fabrication des substrats. Plusieurs sortes de substrats ont été développées et sont utilisées.

Idéalement, on désire un coefficient de couplage élevé et un coefficient de température égal à zéro. Pour l'instant, cela n'est pas possible, aussi un compromis est-il nécessaire. Il est nécessaire de choisir un substrat répondant aux spécifications exigées. Les relations entre les constantes du matériau et les caractéristiques du résonateur sont décrites ci-après.

a) Vitesse de propagation

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

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

où d (μm) est la période spatiale de réseau. Pour une fréquence de résonance spécifiée, des vitesses plus faibles exigent une période entre doigts plus courte, d'où l'utilisation de substrats de petites dimensions. Une vitesse élevée est recommandée pour des résonateurs haute fréquence afin de rendre la fabrication du TID plus facile. La vitesse de propagation pour un substrat courant se situe habituellement dans une gamme de 2 000 m/s à 5 000 m/s.

b) Coefficient de couplage

Le coefficient de couplage d'OAS k_s^2 est le rapport de transformation entre l'énergie électrique et l'énergie mécanique (OAS). Le coefficient de couplage est un facteur principal qui détermine un rapport de capacité r . Lorsque le coefficient de couplage d'un substrat est suffisamment élevé, il est facile de construire un résonateur à OAS ayant un faible rapport de capacité r . Le rapport de capacité minimal qui peut être atteint est représenté par:

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

c) Coefficient de température

Cette caractéristique est déterminée principalement par le matériau piézoélectrique et les orientations de cristal. Les matériaux tels le quartz de coupe Y tournée (autour de la coupe ST) et $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ possèdent des caractéristiques température-fréquence paraboliques, mais les autres matériaux piézoélectriques possèdent des caractéristiques qui sont presque linéaires. La figure 11 montre les caractéristiques température-fréquence pour divers matériaux de substrat habituellement utilisés.

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, high coupling coefficient and 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.

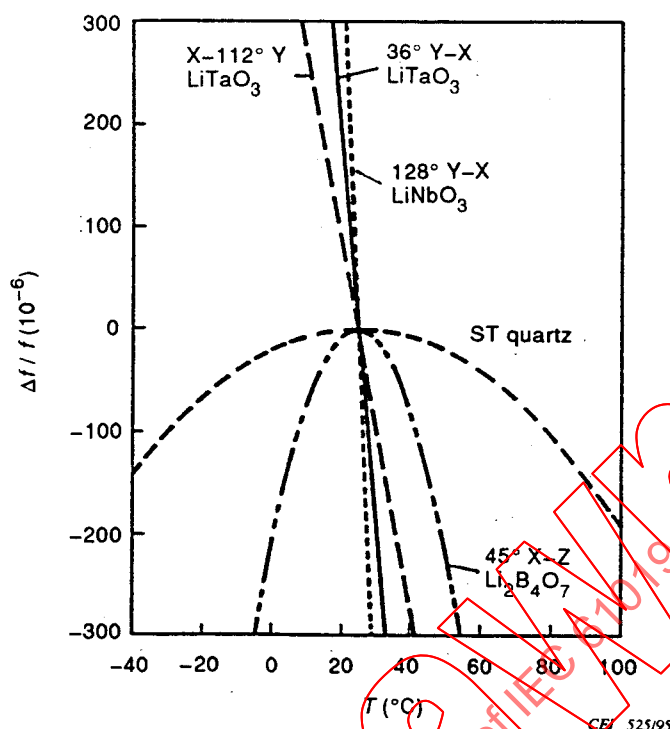


Figure 11 – Caractéristiques température-fréquence pour divers matériaux habituellement utilisés et leurs angles de coupe

La dépendance température-fréquence typique est:

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

où

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

T_0 est la température d'inversion;

T est la température de fonctionnement;

a est le coefficient de température de premier ordre;

b est le coefficient de température de deuxième ordre.

Les valeurs typiques du coefficient de température sont données dans le tableau 1.

d) Permittivité relative

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

e) Perte de propagation dans un matériau

Le facteur de qualité d'un résonateur à OAS est une fonction de ses diverses pertes. La valeur du facteur de qualité Q dépend: de la perte de propagation dans un matériau (amortissement visqueux et charge dans l'air), de la perte de propagation en surface (finition imparfaite de la surface), de la perte de conversion des ondes de volume, de la diffraction et autres pertes de fuite au bord des réflecteurs et des pertes ohmiques et celles de frottement des électrodes. La perte de propagation dans le matériau détermine la limite maximale du facteur de qualité, qui est appelé le facteur de qualité d'un matériau Q_m .

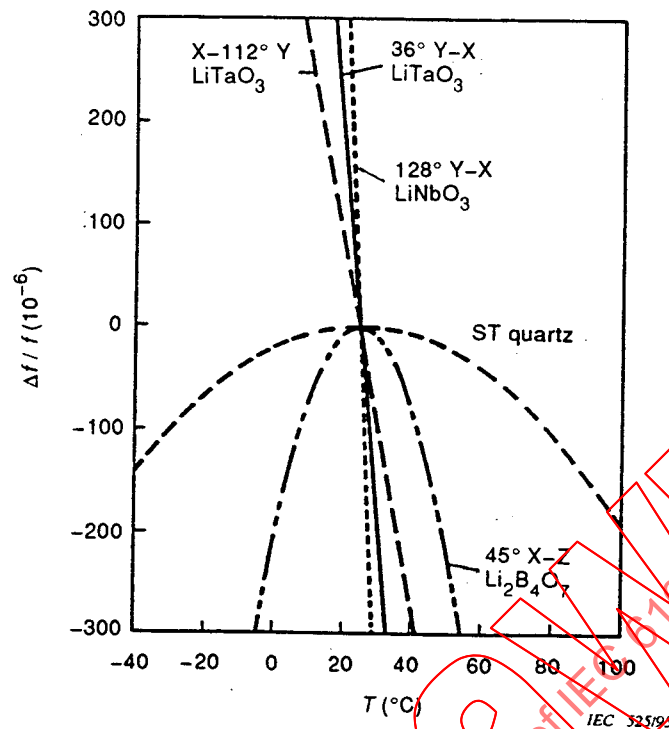


Figure 11 – Frequency-temperature characteristics for various common materials and their angles of cut

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) *Matériaux monocristallins typiques*

Les propriétés des substrats monocristallins sont gouvernées par l'angle de coupe et par la direction de propagation d'OAS à cause de l'anisotropie du cristal. Les monocristaux sont avantageux en raison de leur reproductibilité, fiabilité et faible perte de propagation.

Cependant, il est encore difficile d'obtenir un matériau satisfaisant simultanément à un coefficient de couplage élevé et à un faible coefficient de température.

Les cristaux typiques et leurs angles de coupe recommandés pour les résonateurs à OAS sont donnés dans le tableau 1 avec les constantes de matériau.

Tableau 1 – Propriétés des matériaux pour substrats monocristallins

Matériau	Angle de coupe degré	Direction de propagation degré	Vitesse v_s m/s	Coefficient de couplage k_s^2 %	Coefficient de température		Permittivité relative ϵ_r
					a $10^{-6}/K$	b $10^{-9}/K^2$	
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 ^{ème} ordre	4,5
LiTaO ₃	X	112° Y	3 295	0,64	-18	-	44
LiTaO ₃	36° Y	X	4 171	7,6	-33	-	48,3
LiNbO ₃	Y	Z	3 488	4,82	-94	-	36,7
LiNbO ₃	128° Y	X	4 000	5,56	-74	-	39,1
Li ₂ B ₄ O ₇	45° X	Z	3 401	1	0	-270	9,6

5.5 *Caractéristiques disponibles*

a) *Gamme de fréquence*

La fréquence de limite supérieure pour les résonateurs à OAS est déterminée par la possibilité de fabrication d'images à traits minces en photolithographie principalement et par la vitesse de l'OAS. Si le pas d'espacement réalisable des pistes est d (μm), la vitesse est égale à $v_s/(2d)$ (MHz), où v_s (m/s) est la vitesse de l'OAS. La fréquence de limite inférieure dépend des restrictions imposées par les dimensions des substrats. Les dimensions de la tranche de substrat et les dimensions de l'enveloppe sont finies. En pratique, le prix du résonateur demandé limite aussi la dimension du substrat. A présent, la gamme de fréquence pratique pour les résonateurs à OAS s'étend approximativement de 60 MHz à 1 GHz. Cependant, cette limitation n'est jamais stricte.

b) *Facteur de qualité*

Le facteur de qualité maximal possible pour un résonateur à OAS idéalement conçu et traité est limité à Q_m , ce qui est décrit en 5.4 e). Q_m dépend de la fréquence et est approximativement exprimé par $Q_m = 10^7/f$ pour les matériaux typiques de substrat, où f est la fréquence en mégahertz. Il est à noter que les résonateurs à OAS atteignent Q_m pour plusieurs fréquences. Cependant, les résonateurs à OAS produits en série ont un $Q = 15\ 000 \sim 20\ 000$ à 100 MHz et $Q = 10\ 000$ à 600 MHz.

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 degree	Propagation direction degree	Velocity v_s m/s	Coupling coefficient k_s^2 %	Temperature coefficient		Relative permittivity ϵ_r
					a $10^{-6}/K$	b $10^{-9}/K^2$	
ST-quartz	42,75° Y	X	3 157	0,16	0	-34	4,5
LST-quartz	-75° Y	X	3 960	0,11	0	3rd order	4,5
LiTaO ₃	X	112° Y	3 295	0,64	-18	-	44
LiTaO ₃	36° Y	X	4 171	7,6	-33	-	48,3
LiNbO ₃	Y	Z	3 488	4,82	-94	-	36,7
LiNbO ₃	128° Y	X	4 000	5,56	-74	-	39,1
Li ₂ B ₄ O ₇	45° X	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 capability, mostly in photolithography and by SAW velocity. If the realizable line-and-space 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 practical frequency range for SAW resonators is from approximately 60 MHz to 1 GHz nowadays. However, this limitation is never strict.

b) *Quality factor*

The maximum possible quality factor for an 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 are designed to have $Q = 15\,000 \sim 20\,000$ at 100 MHz and $Q = 10\,000$ at 600 MHz.

c) *Coefficient température-fréquence*

Les caractéristiques température-fréquence d'une fréquence de résonance pour les résonateurs à OAS sont étroitement liées au matériau de substrat. Cependant, la contrainte mécanique sur un substrat (tel un agent adhésif), le TID et les réflecteurs en réseau affectent quelque peu la dépendance de température du substrat lui-même.

Les caractéristiques température-fréquence pour les résonateurs à quartz et ceux à $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ont une dépendance parabolique. La température à laquelle la courbe parabolique a sa valeur maximale est nommée la température d'inflexion. Elle peut être choisie par sélection d'un angle de coupe du substrat approprié. En général, elle est localisée dans la gamme de températures de $-20\text{ }^\circ\text{C}$ à $75\text{ }^\circ\text{C}$ et contrôlée avec une précision de $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ d'une température particulière.

Les résonateurs à OAS fabriqués avec d'autres matériaux donnent une relation température-fréquence linéaire. Le coefficient de température est aussi influencé par l'agent adhésif, le TID et les réflecteurs en réseau. Mais cette influence est négligeable en comparaison avec l'influence des matériaux eux-mêmes.

d) *Stabilité à long terme*

Les changements des caractéristiques causés par le vieillissement ou la stabilité à long terme pour les résonateurs à OAS ont pour cause les changements de la fréquence de résonance et la détérioration du facteur de qualité. Ces changements sont influencés par:

- contamination sur la surface du substrat du résonateur;
- contrainte mécanique, par exemple, à cause de la différence de la dilatation thermique entre le substrat d'un résonateur et l'enveloppe;
- un niveau d'excitation trop élevé.

Dans les deux premiers cas, l'anomalie est liée au dispositif à OAS lui-même, et il existe de nombreuses causes possibles. Il est bien connu que certaines viennent du processus de fabrication. Les exemples sont: le processus de fabrication de découpe de substrat, le processus de connexion du substrat en utilisant un agent adhésif, le processus de fermeture du boîtier et autres.

Dans le troisième cas, les changements de caractéristiques ont lieu dans la condition de surexcitation et dépendent de la construction du circuit oscillateur. Un niveau d'excitation excessif endommage les électrodes dans un résonateur à OAS et raccourcit sa vie. Cela est décrit en 5.5 e). Habituellement, si l'on accorde un soin particulier à la limitation du niveau d'excitation, on obtient une stabilité à long terme de plusieurs millièmes par année ou moins.

e) *Résistance à la puissance élevée*

Une contrainte mécanique excessive et répétitive peut introduire des défauts d'électrodes tels que bossages et lacunes. Cela est une cause des écarts de la fréquence de résonance et de la dégradation du facteur de qualité. Pour faire fonctionner le résonateur pendant une période assez longue, dans la plupart des applications, le niveau d'excitation doit être inférieur à quelques milliwatts.

Pour améliorer la tenue à une puissance élevée, le dopage par une petite quantité de cuivre ou de titane dans les électrodes d'aluminium est utilisé. Les électrodes d'aluminium épitaxial sur quartz sont aussi utilisées. Elles sont conçues pour contrôler le grain de la pellicule mince d'aluminium métallisée. Cette limitation du niveau dépend de la fréquence, des températures ambiantes, de la constitution des électrodes et de la construction du dispositif.

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 resonator chip surface;
- mechanical stress, for example by differences in thermal expansion between resonator substrate and 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 bare-chip manufacturing process, chip-bonding process using adhesive agent, package sealing process and others.

In the third case, the characteristic changes occur in 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) *Stabilité à court terme d'un oscillateur à OAS*

La stabilité à court terme est la pureté de spectre d'un oscillateur et elle est définie comme le bruit d'une bande latérale unique (BLU), le bruit de la modulation en fréquence résiduelle ou le rapport fréquence porteuse sur bruit (F/B) pour un signal d'oscillation. La performance dépend du facteur de qualité du résonateur à OAS et du niveau de puissance dans la boucle oscillateur. En général, les oscillateurs à OAS peuvent atteindre des stabilités à court terme plus élevées en comparaison avec les oscillateurs LC classiques et les oscillateurs à résonateurs diélectriques.

g) *Disponibilité*

Les propriétés typiques des résonateurs à OAS à une porte disponibles, pour les matériaux différents, sont montrées dans le tableau 2. Pour les résonateurs à OAS à deux portes, le facteur de qualité est presque le même que pour les résonateurs à une porte.

Tableau 2 – Propriétés typiques des résonateurs à OAS à une porte disponibles jusqu'à la fréquence de 600 MHz approximativement

Matériaux pour substrats	Quartz de coupe ST	X-112° Y LiTaO ₃	36° Y-X LiTaO ₃
Facteur de qualité Q	12 000 – 24 000	12 000 – 17 000	600
Rapport de capacité r	1 200 – 1 600	800	14
Facteur de mérite $M=Q/r$	9 – 17	18	40
CTF	$-0,034 \times 10^{-6}/K^2$	$-18 \times 10^{-6}/K$	$-33 \times 10^{-6}/K$

6 Guide d'emploi

6.1 Circuits d'oscillateur et condition d'oscillation

Les oscillateurs utilisant les résonateurs à OAS sont des oscillateurs stables dans les gammes de fréquences VHF et UHF sans multiplication de fréquence et possèdent une bonne pureté spectrale (ou stabilité à court terme).

Les résonateurs à OAS à une porte sont très similaires aux résonateurs à quartz du point de vue électrique malgré les différences de modes de vibration mécaniques et de gamme de fréquences utilisée. Par conséquent, les oscillateurs sont conçus de la même manière que les circuits oscillateur à quartz.

D'autre part, les résonateurs à OAS à deux portes sont traités du point de vue électrique comme filtres à bande étroite. Les oscillateurs sont conçus avec des amplificateurs à réaction.

La figure 12a montre un oscillateur typique avec un résonateur à OAS à une porte fonctionnant à la fréquence de 100 MHz. Il peut être réduit jusqu'au circuit montré à la figure 12b en considérant un signal radiofréquence seul. L'oscillation a lieu dans la gamme de fréquences où le résonateur est inductif.

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 range 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.

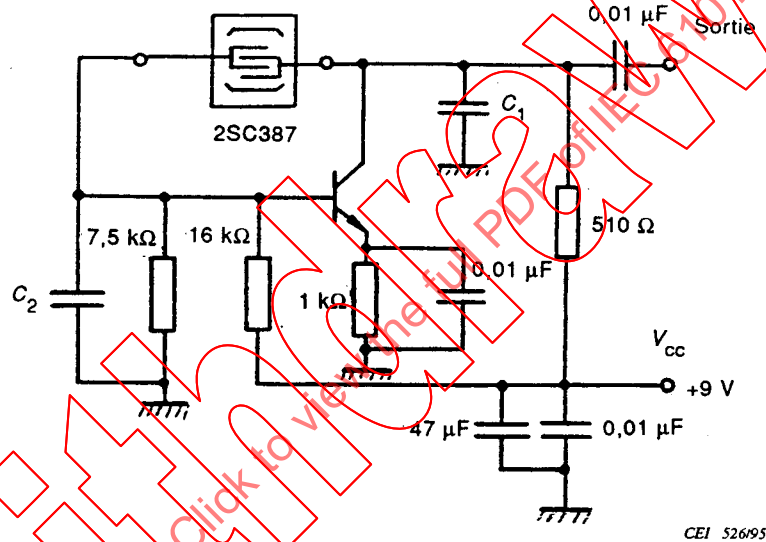
Figure 12a presents a typical one-port SAW resonator oscillator in the 100 MHz frequency range. This can be reduced to figure 12b, considering the r.f. signal alone. The oscillation occurs in the frequency range, where the resonator is inductive.

Pour analyser la condition d'oscillation, le circuit d'oscillateur est décrit par le circuit équivalent, comprenant d'une part le résonateur et d'autre part les éléments actifs comme il est montré à la figure 12c.

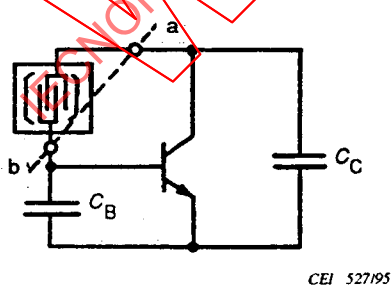
Le résonateur dans la partie gauche peut être décrit comme un circuit équivalent avec les éléments concentrés constitué d'une réactance $X_e(f)$ en série avec une résistance $R_e(f)$. L'autre côté avec les éléments actifs peut être remplacé par une résistance négative R_L et une réactance avec une charge capacitive $X_L (= 1/(2\pi f \times C_L))$.

L'oscillation a lieu à la fréquence f_{OSC} , où les équations suivantes sont satisfaites:

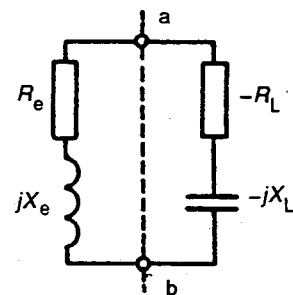
$$\begin{cases} X_e(f) = X_L \\ R_e(f) = R_L \end{cases}$$



12a - Circuit d'oscillateur



12b- Circuit RF d'oscillateur



12c - Circuit équivalent

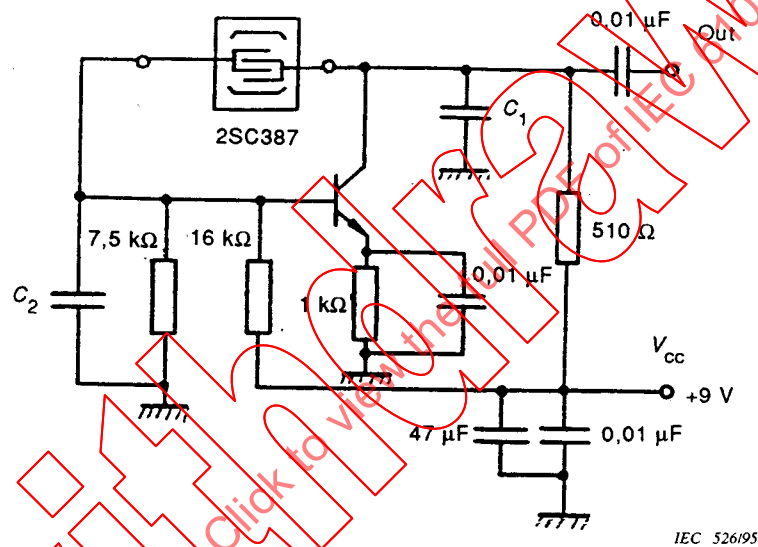
Figure 12 - Oscillateur avec un résonateur à OAS à une porte à 100 MHz

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.

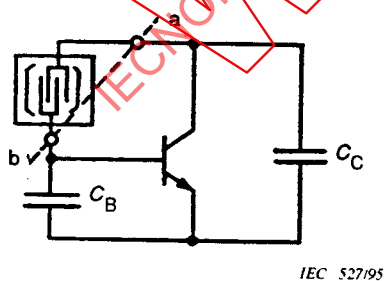
The resonator on the left-hand side can be re-written into the lumped element equivalent circuit, which is a reactance $X_e(f)$ in series with a resistance $R_e(f)$. The active element side can be replaced by a negative resistance R_L with a load capacitive reactance $X_L (= 1/(2\pi f \times C_L))$.

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

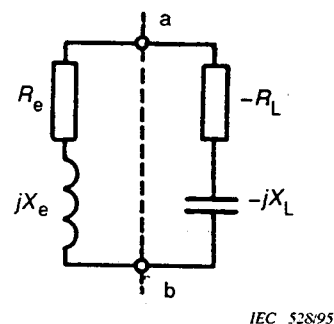
$$\begin{cases} X_e(f) = X_L \\ R_e(f) = R_L \end{cases}$$



12a – Oscillator circuit



12b – RF circuit of the oscillator



12c – Equivalent circuit

Figure 12 – 100 MHz one-port SAW resonator oscillator

La fréquence d'oscillation peut être déterminée approximativement par l'équation suivante:

$$f_{osc} \approx f_r \times \left(1 + \frac{C_o}{2r(C_o + C_L)} \right)$$

où

f_r est la fréquence de résonance;

r est le rapport de capacité (C_o/C_L) du résonateur.

Cela signifie que la fréquence d'oscillation peut être légèrement changée en changeant la réactance de charge.

La figure 13a montre un oscillateur avec un résonateur à OAS à deux portes typique fonctionnant dans la gamme de fréquence de 600 MHz. Il peut être simplifié comme il est montré à la figure 13b, où l'élément actif fonctionne comme un amplificateur à réaction. L'amplificateur à réaction doit être conçu pour satisfaire aux conditions suivantes:

$$A/I \leq G_E \quad (\text{dB})$$

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

où n est un nombre entier.

La première équation est l'équation conditionnelle pour l'amplitude d'oscillation, où il est exigé que le gain d'amplificateur G_E excède l'affaiblissement d'insertion (A/I) d'un résonateur à OAS. La deuxième équation est l'équation conditionnelle de phase, où le déphasage de boucle sur l'amplificateur ϕ_E et du résonateur à OAS ϕ doivent être égaux à un nombre entier de 2π à la fréquence d'oscillation. Cela signifie que l'oscillation n'a pas lieu à la fréquence de résonance exacte du résonateur à OAS, mais dépend principalement de la condition de phase, influencée par le déphasage d'amplificateur à réaction.

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

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

where

f_r is the resonance frequency;

r is the capacitance ratio (C_o/C_L) of the resonator;

This means that the 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.

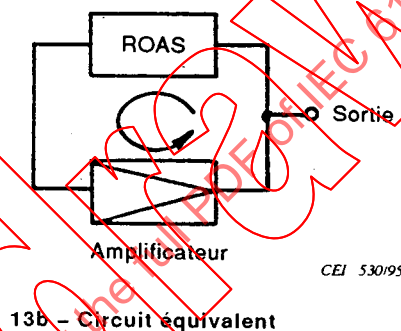
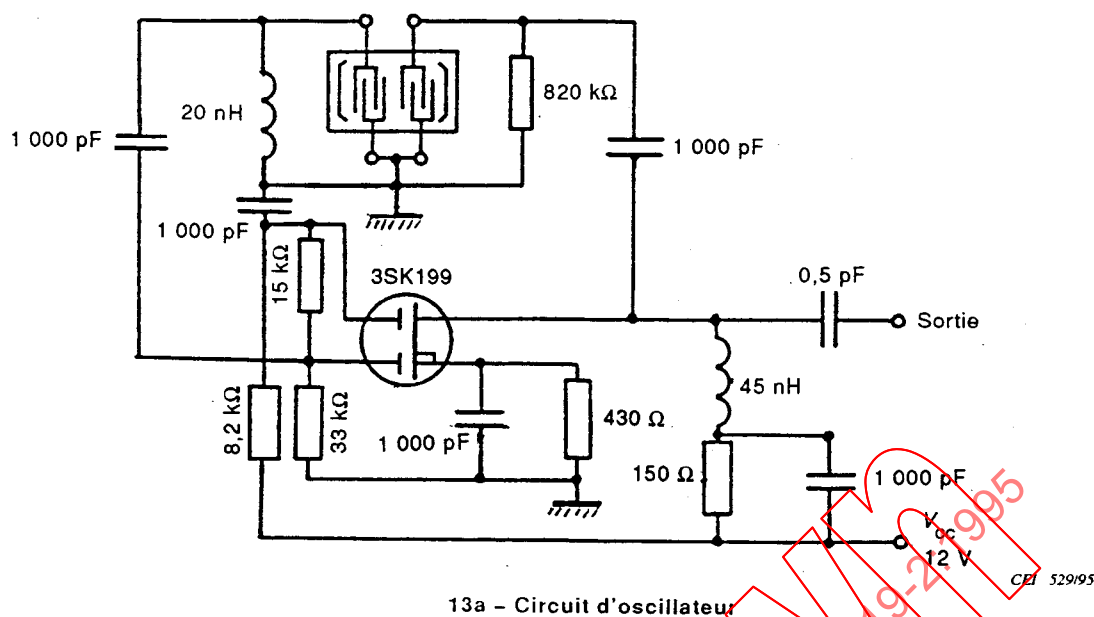


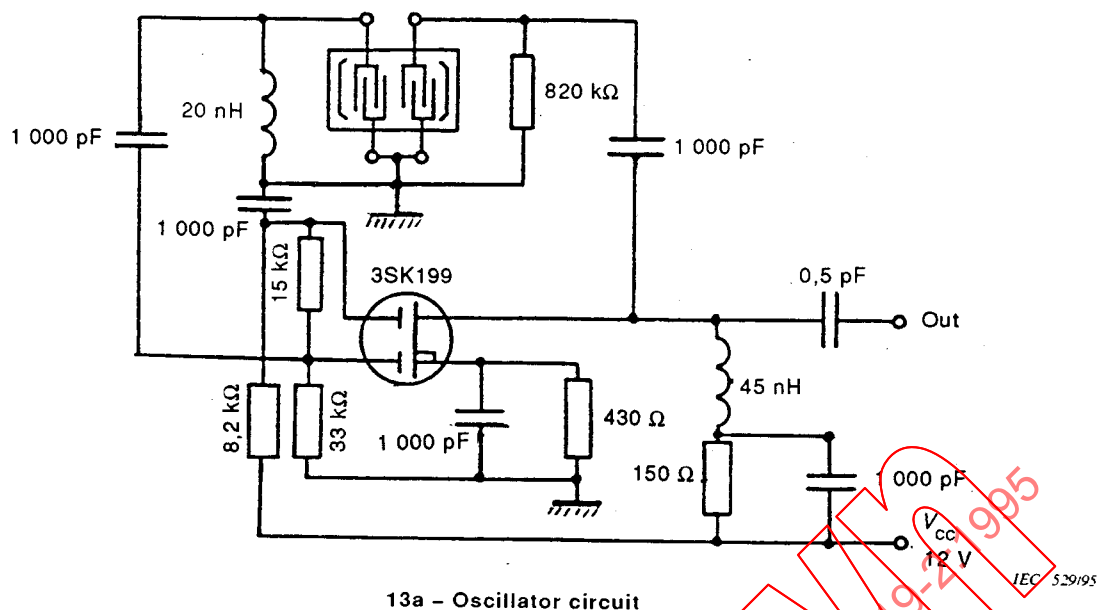
Figure 13 – Oscillateur à un résonateur à OAS à deux portes à 600 MHz

En outre, il faut faire attention au fait que les résonateurs à OAS à deux portes peuvent être conçus pour un déphasage égal à 0° ou à 180° approximativement, en réglant la position d'un TID de manière appropriée et par la connexion des sorties.

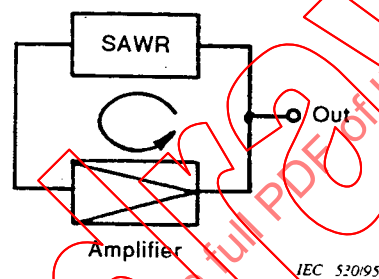
6.2 Remarques pratiques pour l'application dans l'oscillateur

Comme il est décrit ci-dessus, la fréquence d'oscillation diffère de la fréquence de résonance exacte et de la fréquence centrale indépendamment de l'emploi d'un résonateur à OAS à une porte ou à deux portes. La différence en fréquence dépend de la condition du circuit oscillateur, de la capacité de charge ou du déphasage de l'amplificateur à réaction. Il convient que les résonateurs soient commandés en prenant en considération la dépendance de la fréquence liée à la conception du circuit oscillateur.

Il convient aussi de vérifier si l'utilisation est compatible avec les dispersions des caractéristiques d'un résonateur, comme il est décrit en 5.5 d). Pour cette raison, le fabricant doit effectuer des essais de conformité de la qualité, en particulier des essais de vieillissement accéléré ou de vieillissement continu et de présenter les résultats obtenus.



13a - Oscillator circuit



13b - 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 and 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.