

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Radio frequency (RF) bulk acoustic wave (BAW) filters of assessed quality –
Part 2: Guidelines for the use**

**Filtres radiofréquences (RF) à ondes acoustiques de volume (OAV) sous
assurance de la qualité –
Partie 2: Lignes directrices d'emploi**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Radio frequency (RF) bulk acoustic wave (BAW) filters of assessed quality –
Part 2: Guidelines for the use**

**Filtres radiofréquences (RF) à ondes acoustiques de volume (OAV) sous
assurance de la qualité –
Partie 2: Lignes directrices d'emploi**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 31.140

ISBN 978-2-83220-248-7

**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 RF BAW filters	7
4.1 General.....	7
4.2 Fundamentals of RF BAW resonators	8
4.3 RF resonator structures.....	13
4.4 Ladder filters	15
4.4.1 Basic structure	15
4.4.2 Principle of operation.....	16
4.4.3 Characteristics of ladder filters	17
5 Application guide	18
5.1 Application to electronics circuits.....	18
5.2 Availability and limitations	18
5.3 Input levels.....	18
6 Practical remarks.....	18
6.1 General.....	18
6.2 Feed-through signals.....	19
6.3 Load and source impedance conditions	19
7 Miscellaneous	19
7.1 Soldering conditions.....	19
7.2 Static electricity.....	19
8 Ordering procedure	19
Bibliography.....	22
Figure 1 – Frequency response of a RF BAW filter.....	7
Figure 2 – Applicable range of frequency and relative bandwidth of the RF BAW filter and the other filters.....	8
Figure 3 – Basic BAW resonator structure.....	9
Figure 4 – BVD model.....	9
Figure 5 – Typical impedance characteristics.....	10
Figure 6 – Typical impedance characteristics of RF BAW devices.....	12
Figure 7 – Modified BVD model.....	13
Figure 8 – FBAR structures.....	14
Figure 9 – SMR structure	15
Figure 10 – Structure of ladder filter	15
Figure 11 – Equivalent circuit of basic section of ladder filter	16
Figure 12 – Basic concept of ladder filter	16
Figure 13 – Typical characteristics of a 1,9 GHz range ladder filter.....	17

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIO FREQUENCY (RF) BULK ACOUSTIC
WAVE (BAW) FILTERS OF ASSESSED QUALITY –****Part 2: Guidelines for 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62575-2 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection.

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

FDIS	Report on voting
49/994/FDIS	49/999/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.

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

A list of all the parts in the IEC 62575 series, published under the general title *Radio frequency (RF) Bulk acoustic wave (BAW) filters of assessed quality*, can be found on the IEC website.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012

INTRODUCTION

RF BAW filters are now widely used in mobile communications. While the RF BAW filters have various specifications, many of them can be classified within a few fundamental categories.

Standard specifications, given in IEC 62575, and national specifications or detail specifications issued by manufacturers, define the available combinations of nominal frequency, pass bandwidth, ripple, shape factor, terminating impedance, etc. These specifications are compiled to include a wide range of RF BAW filters with standardized performances. It cannot be over-emphasized that the user should, wherever possible, select his RF BAW filters from these specifications, when available, even if it may lead to making small modifications to his circuit to enable standard filters to be used. This applies particularly to the selection of the nominal frequency.

This standard has been compiled in response to a generally expressed desire on the part of both users and manufacturers for guidance on the use of RF BAW filters, so that the filters may be used to their best advantage. To this end, general and fundamental characteristics have been explained in this part of IEC 62575.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012

RADIO FREQUENCY (RF) BULK ACOUSTIC WAVE (BAW) FILTERS OF ASSESSED QUALITY –

Part 2: Guidelines for the use

1 Scope

This part of IEC 62575 gives practical guidance on the use of RF BAW filters which are used in telecommunications, measuring equipment, radar systems and consumer products. General information, standard values and test conditions will be provided in a future IEC standard¹.

This part of IEC 62575 includes various kinds of filter configurations, of which the operating frequency range is from approximately 500 MHz to 10 GHz and the relative bandwidth is about 1 % to 5 % of the centre frequency.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

None.

3 Technical considerations

It is of prime interest to a user that the filter characteristics should satisfy a particular specification. The selection of tuning networks and RF BAW filters to meet that specification should be a matter of agreement between user and manufacturer.

Filter characteristics are usually expressed in terms of insertion attenuation as a function of frequency, as shown in Figure 1. A standard method for measuring insertion attenuation is described in IEC 60862-1:2003, 5.5.2. Insertion attenuation characteristics are further specified by nominal frequency, minimum insertion attenuation or maximum insertion attenuation, pass-band ripple and shape factor. The specification is to be satisfied between the lowest and highest temperatures of the specified operating temperature range and before and after environmental tests.

¹ This standard (under consideration) is expected to bear the reference number IEC 62575-1.

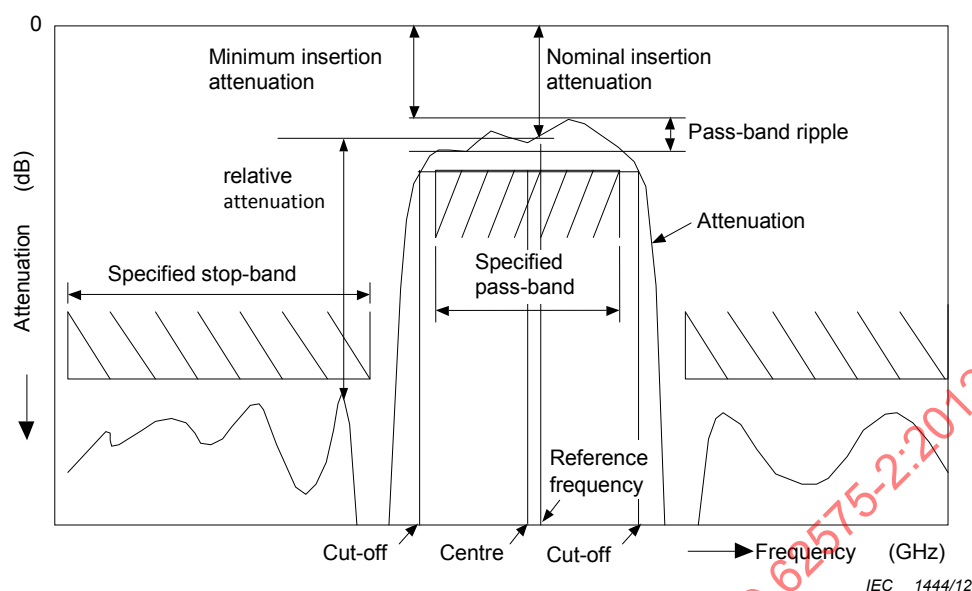


Figure 1 – Frequency response of a RF BAW filter

4 Fundamentals of RF BAW filters

4.1 General

The features of RF BAW filters are their small size, light weight, adjustment-free, high stability and high reliability. RF BAW filters add new features and applications to the field of surface acoustic wave (SAW) filters and dielectric resonator filters. Nowadays, RF BAW filters with low insertion attenuation are widely used in various applications in the gigahertz range.

RF BAW filters are becoming rapidly popular as miniature and low insertion attenuation filters for mobile communication application. RF BAW resonator filters can realize low insertion attenuation easily and of a smaller size than that of the RF SAW filters with the same bandwidth. Their feasible bandwidth is, however, limited by employing piezoelectric materials, design methods and so on. It is desirable for users to understand these factors for RF BAW resonator filters. This standard explains the principles and characteristics of RF BAW resonator filters.

RF BAW filters usually employ a filter configuration called the ladder filter, which is composed of multiple RF BAW resonators. They are classified into two types: film bulk acoustic resonators and solidly mounted resonators. In Figure 2, the applicable frequency range and relative bandwidth of the RF BAW filters are shown in comparison with those of ceramic, crystal, dielectric, helical, SAW and stripline filters.

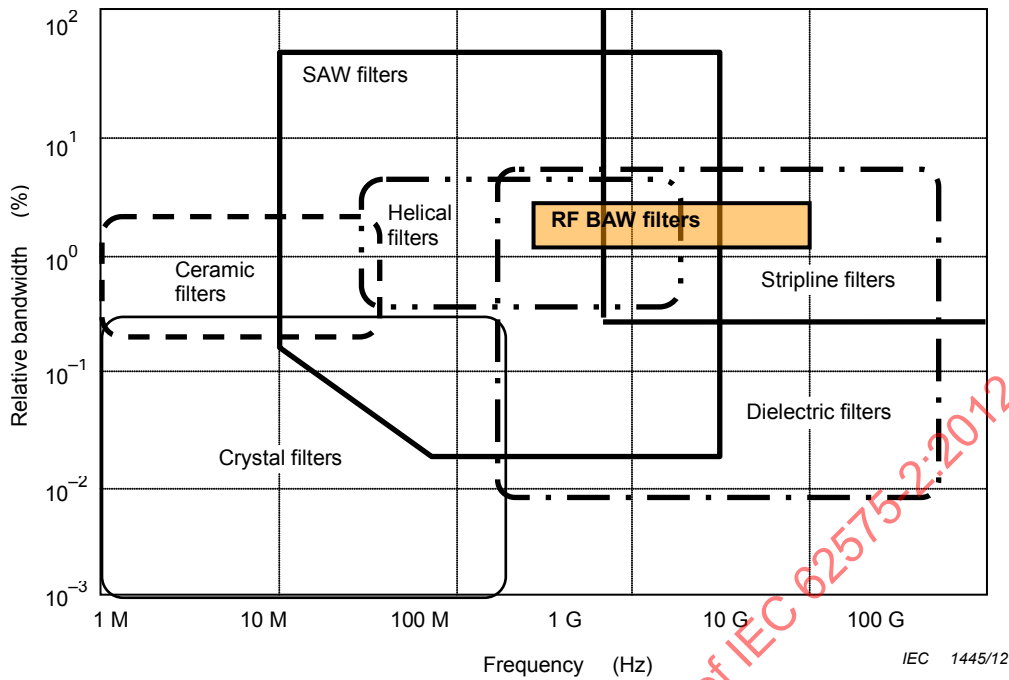


Figure 2 – Applicable range of frequency and relative bandwidth of the RF BAW filter and the other filters

4.2 Fundamentals of RF BAW resonators

a) Acoustic resonance

When a mechanical impact is applied to a solid surface, acoustic waves are generated, and a portion of their energy is transmitted by propagation of the acoustic waves in the bulk. This type of wave is called the bulk acoustic wave (BAW). Remaining energy may be transferred by acoustic waves propagating along the surface. This type of wave is called the surface acoustic wave (SAW).

There are two types of BAWs: the longitudinal or dilatational BAW, with the displacement toward the propagation direction, and the transverse or shear BAW, with the displacement normal to the propagation direction. Acoustic wave velocities in solids are a few hundreds of meters per second to twenty thousands of meters per second. Usually the longitudinal BAW is few times faster than the shear BAW for a given material and orientation.

In the case of acoustic wave propagation in a parallel plate, it is known that the plate causes a mechanical resonance (thickness resonance) when the plate thickness h is half-integer times the wavelength λ of acoustic waves propagating in the plate normal to the plate surface, i.e. $h = n\lambda/2$, where n is an integer and called the order of modes. We obtain mechanical resonance frequencies f_r as

$$f_r = V/\lambda = nV/(2h) \quad (1)$$

where V is the acoustic wave velocity. Equation (1) indicates that in addition to a lowest-order resonance ($n=1$) called the fundamental resonance, a series of higher-order ($n \neq 1$) ones might be excited. Since f_r for $n \neq 1$ will be integer times f_r for $n=1$ in this case, higher-order resonances are often called harmonics or harmonic resonances. When the longitudinal BAW is responsible for the thickness resonance, it is called the thickness extensional (TE) resonance but when the shear wave is responsible, it is called the thickness shear (TS) resonance.

There are also acoustic waves propagating along the plate top surface. When wave energy is well confined near the top surface and influence of the back surface is negligible, the waves are called the surface acoustic waves (SAWs). On the other hand, when wave energy penetrates into the plate and influence of the back surface is not negligible, the waves are called plate waves or Lamb waves.

b) Piezoelectric excitation and detection

In the case where a piezoelectric plate is sandwiched between two parallel electrodes (see Figure 3), when an electrical voltage E is applied between two electrodes, mechanical force is generated through the piezoelectricity, and acoustic motion will be induced. On the other hand, electrical charges will be induced to the electrodes by electric fields associated with propagating acoustic waves.

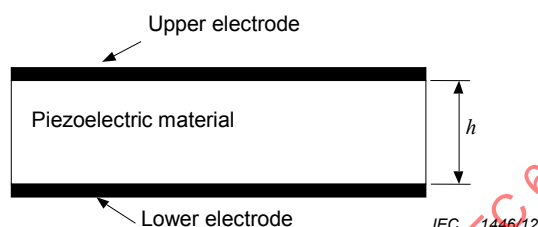


Figure 3 – Basic BAW resonator structure

An electromechanical equivalent circuit shown in Figure 4 may be deduced from these relations. In Figure 4, C_0 is the clumped capacitance originating from the electrostatic coupling between two electrodes, and C_1 , L_1 and R_1 are the motional capacitance, inductance and resistance, respectively, originating from mechanical reaction, i.e. elasticity, inertia and damping, respectively. This circuit is called the Butterworth-Van Dyke (BVD) model.

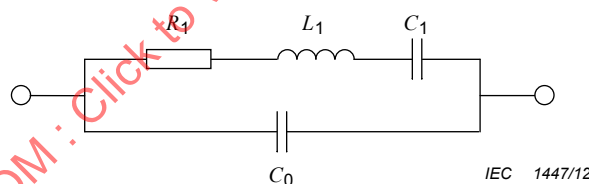


Figure 4 – BVD model

Figure 4 implies that mechanical resonances described above can be excited and detected electrically through the electrodes. Namely, this device serves as an electrical resonator. This type of resonator is called the BAW resonator. Proper choice of the piezoelectric material offers small acoustic attenuation, which results in long duration of the mechanical vibration. This mechanical property influences the electrical one as large quality (Q) factor of the electrical resonance circuit.

Figure 5 shows typical resonance characteristics calculated by the BVD model. It is seen that a series resonance occurs at a frequency f_r where the electrical impedance Z between two electrodes becomes pure resistive and very small. From the BVD model, f_r is given by

$$f_r \approx 1/2\pi\sqrt{L_1 C_1} \quad (2)$$

On the other hand, at a frequency f_a slightly above f_r , a parallel resonance occurs where Z becomes pure resistive and very large. From the BVD model, f_a is given by

$$f_a \approx 1/\sqrt{2\pi\sqrt{L_1(C_1^{-1} + C_0^{-1})}}^{-1} \quad (3)$$

These frequencies are called the resonance and the anti-resonance frequencies, respectively²

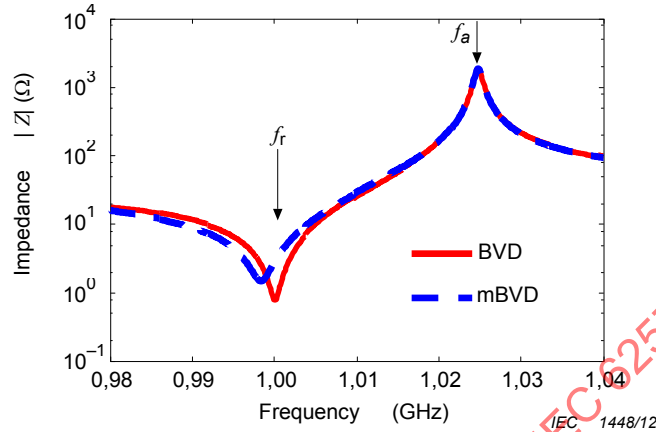


Figure 5 – Typical impedance characteristics

The capacitance ratio r is often used as a measure of the resonator performance, and is defined by

$$r = \left[(f_a/f_r)^2 - 1 \right]^{-1} \quad (4)$$

From the BVD model, and r is given by

$$r = C_0/C_1 \quad (5)$$

In the filter design discussed later, r limits achievable fractional frequency bandwidth for filter applications.

At frequencies much lower than f_r , the resonator is equivalent to a capacitor with the capacitance of $C_0 + C_1 = C_0(1 + r^{-1})$, which is given by $\epsilon S/h$, where ϵ is the dielectric constant and S is the electrode area. Thus C_0 is adjustable only by S because h is mostly determined by the frequency setting.

It is clear from Equation 5 that r indicates weakness of the piezoelectricity. In fact, full wave analysis gives a relation between f_r/f_a and the electromechanical coupling factor k_t^2 for the thickness-longitudinal vibration of the piezoelectric material as

$$k_t^2 = (n\pi f_r / 2f_a) / \tan(n\pi f_r / 2f_a) \quad (6)$$

When $f_r \cong f_a$, Equations (3) and (5) become

² Frequencies f_m and f_n giving minimum $|Z|$ and maximum $|Z|$ are the frequencies of maximum and minimum admittance or those of minimum and maximum impedance. When Q is large, f_m and f_n are almost equal to f_r and f_a , respectively.

$$(f_a - f_r)/f_a \cong 1/2\gamma \cong \begin{cases} 4k_t^2/n^2\pi^2 & n:\text{odd} \\ 0 & n:\text{even} \end{cases} \quad (7)$$

This indicates three important facts:

- 1) achievable r is limited by k_t^2 of employed piezoelectric material;
- 2) even-order overtones cannot be excited electrically; and
- 3) γ increases rapidly with an increase in n .

It should be noted that Equations (6) and (7) are only valid when a uniform piezoelectric layer is sandwiched between two infinitesimally thin electrodes with infinite conductance. Since influence of electrodes is not negligible as will be discussed later, piezoelectric strength of the resonator structure is often characterized by the effective electromechanical coupling factor defined by

$$k_{\text{teff}}^2 = (\pi f_r / 2f_a) / \tan(\pi f_r / 2f_a) \quad (8)$$

From the BVD model, the Q factor at f_r is given by

$$Q_r = 2\pi f_r L_1 / R_1 \quad (9)$$

and is often referred to as the resonance Q or Q_r . We can also evaluate the Q factor at the anti-resonance frequency, and the value is called the anti-resonance Q or Q_a . In the filter design, Q_r and Q_a determine steepness of the pass-band edges for filter applications.

For resonator characterization, the figure of merit, M is defined as

$$M = Q_r / r \quad (10)$$

In the filter design, M determines achievable minimum insertion attenuation.

It is interesting to note that the BVD model indicates that

$$M \cong 2\pi f_a C_0 Z_{\text{max}} \cong 1/2\pi f_r C_0 Z_{\text{min}} \quad (11)$$

where Z_{max} and Z_{min} are electrical impedances of the resonator at f_n ($\approx f_a$) and f_m ($\approx f_r$), respectively. Thus $Z_{\text{max}}/Z_{\text{min}}$ called the impedance ratio is also used for the resonator characterization.

NOTE 1 This approximated form is valid only when Q_r and r are large.

c) Secondary effects

Basic operation of BAW resonators is simulated fairly well by the use of the BVD model described above. In real devices, however, various secondary effects occur, and their influences shall be well-controlled for device design and production. Significant secondary effects are:

1) Lateral wave propagation

At frequencies close to the resonance, Lamb waves are excited and propagate along the surface. If their wave energy is dissipated, it will cause Q reduction of the main resonance. If the resonator structure is designed to confine the wave energy, the resonance Q might be

preserved, while it may cause unwanted resonances often called spurious resonances. Since lateral structural size is significantly larger than the BAW wavelength in general, frequency separation between the resonances is narrow. From this property, these spurious resonances are called inharmonics. The top surface of the resonator is sometimes shaped in an irregular polygon to smear out spurious resonance peaks.

2) Parasitic impedances

Ohmic resistances, parasitic capacitances, and inductances of the electrodes and pads are not negligible in radio frequencies (RF).

Figure 6 shows polar plot (Smith chart) of the return coefficient Γ of two RF BAW resonators. Γ is given by $(Z-R_0)/(Z+R_0)$, where Z is the device impedance and R_0 is the characteristic impedance of the measurement system. The trace rotates clockwise with the frequency, and leftmost and rightmost points of the trace correspond to the resonance and anti-resonance frequencies, respectively. Series of inharmonics are seen in Figure 6 a). It should be noted that the overtones are only seen above the resonance frequency, and this property called the cut-off indicates they are due to lateral wave propagation.

Application of an appropriate technology enables to suppress inharmonics almost completely as shown in Figure 6 b). In addition, it is seen that the trace approaches to the outermost circle, namely $|\Gamma|$ close to unity. This indicates the lateral wave propagation can be one of the most significant loss mechanisms.

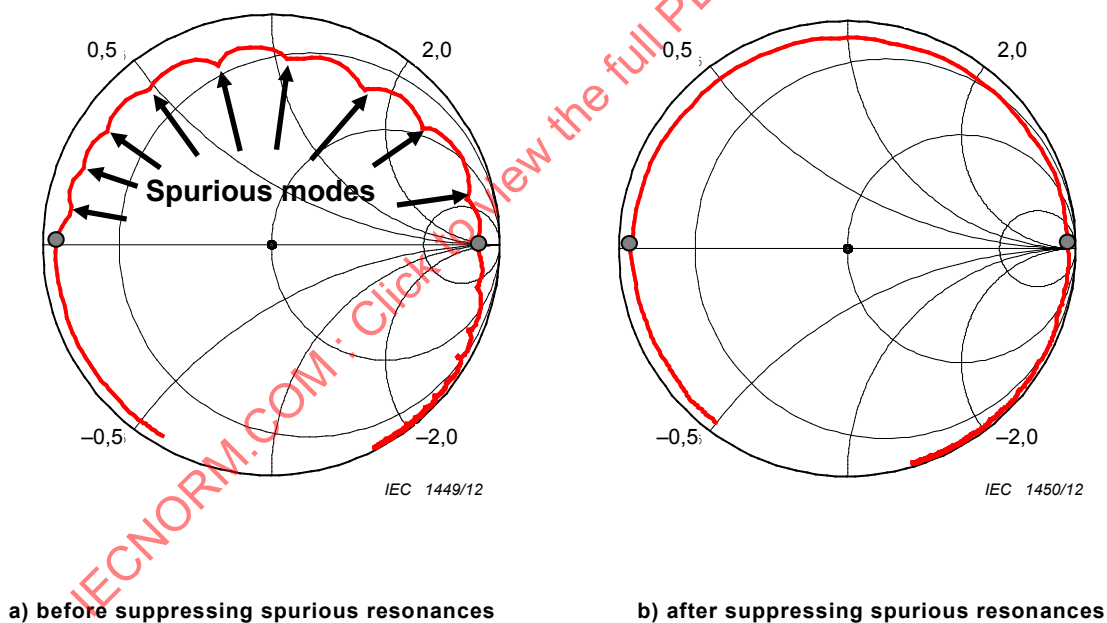


Figure 6 – Typical impedance characteristics of RF BAW devices

The BVD model is often modified to take these effects into account. Figure 7 shows an example, where series resistance R_s and shunt resistance R_0 are added to express variation of energy dissipation with frequency, and L_s expresses inductance of the interconnecting electrodes and/or bonding wires.

NOTE 2 A modification of the equivalent circuit is not unique. For example, R_0 in Figure 7 is sometimes placed in parallel with C_0 instead of series.

Even if L_s and/or R_s are small, their impact is significant near the resonance frequency where $|Z|$ becomes extremely small. This modified BVD model gives the resonance frequency f_r and the resonance Q , Q_r , as

$$f_r \approx 1/2\pi\sqrt{(L_s + L_1)C_1} \quad (12)$$

and

$$Q_r = 2\pi f_r (L_1 + L_s)/(R_1 + R_s) \quad (13)$$

respectively. On the other hand, impact of R_0 is significant near the anti-resonance frequency where $|Z|$ becomes extremely large. This modified BVD model gives the anti-resonance Q , Q_a , as

$$Q_a = 2\pi f_a L_1/(R_1 + R_0) \quad (14)$$

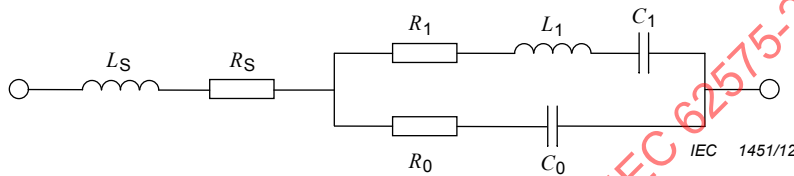


Figure 7 – Modified BVD model

Figure 5 compares the electrical impedance $|Z|$ given by this modified BVD model with that given by the original one. In this calculation, R_0 is set to zero. It is seen that f_r and Q_r are slightly decreased while f_a and Q_a are unchanged. It should be noted that the original BVD model indicates $Q_r \cong Q_a$, but this is not true in general.

Since L_s effectively increases k_{teff}^2 , it is often used positively to enhance the filter performance. On the other hand, the parasitic capacitance between terminals effectively increases C_0 and results in decreased k_{teff}^2 . Thus the device package shall be co-designed with the BAW device chip itself so as to optimize the total device performance.

4.3 RF resonator structures

For applications lower than a few tens of MHz, BAW resonators can be mass-produced by thinning and polishing piezoelectric materials. For higher frequencies, on the other hand, since required thickness h is reduced to micro metre order, thin film technologies are applicable instead of mechanical processing. Although use of overtones with $n \neq 1$ is another choice, it results in significant increase in r .

Aluminium nitride (AlN) is widely used as a piezoelectric layer for the RF BAW resonator because of its several distinct features: low propagation loss, high electrical resistivity, and possible growth of high quality films on underneath metal electrodes. Although various materials such as zinc oxide (ZnO), lead zirconate titanate (PZT), etc. have been investigated extensively, realized performances are much lower than those attained by AlN and far from practical use.

Lack of material choice limits applicability of RF BAW filters. That is, r limiting the filter bandwidth is mostly determined by the piezoelectric material as indicated in 4.2. Molybdenum, Ruthenium, Tungsten, etc., are used for the electrodes because their large acoustic impedance offers slight decrease in r or increase in k_{teff}^2 and they act as a good seed layer for the AlN growth.

RF BAW resonators are categorized into two types.

The first type is called film bulk acoustic wave resonator (FBAR), which employs a free standing membrane supported at side edges. Three kinds of FBAR structures were proposed: Figure 8 a) shows the one employing an air cavity created by back-side etching of the supporting substrate. Figures 8 b) and c) show the ones employing an air cavity created by etching of a layer underneath the resonator structure after completing its fabrication.

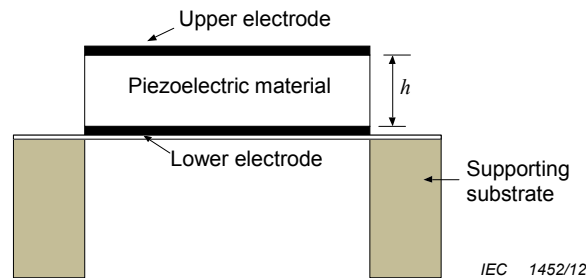


Figure 8 a) – Back-side etched

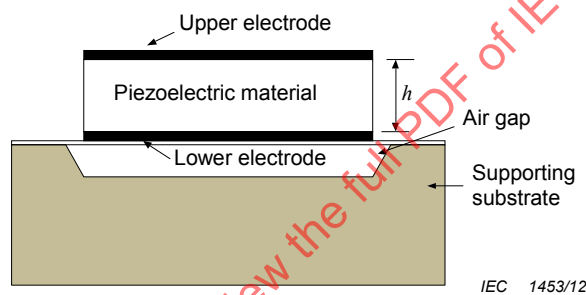


Figure 8 b) – Front-side etched

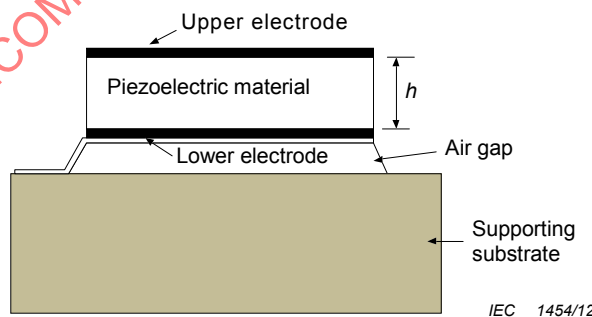


Figure 8 c) – Sacrificial-layer etched

Figure 8 – FBAR structures

The second type is called the solidly mounted resonator (SMR), which employs an acoustic mirror giving acoustic isolation from the substrate and tight physical contact with it. Figure 9 shows the SMR structure. This mirror is composed of multiple layers with different acoustic impedances. For example, the combination of W and SiO₂ is suitable for the use, and a few layers are enough for sufficient reflection. Each of the layers is designed with about a quarter wave thickness for an optimal reflection at the intended operation frequency.

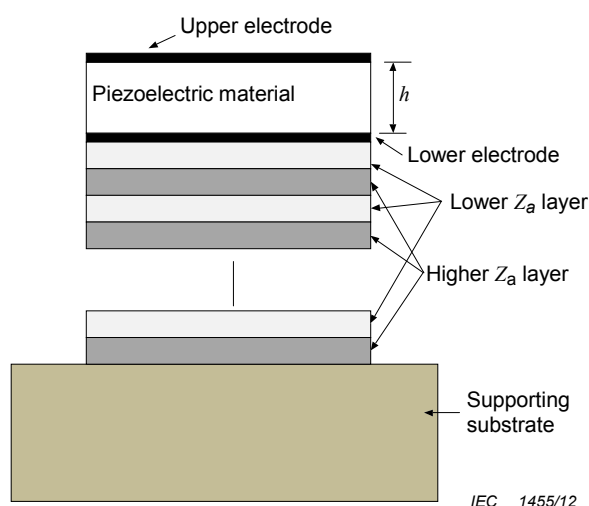


Figure 9 – SMR structure

4.4 Ladder filters

4.4.1 Basic structure

Ladder type filters are comprised of series and parallel BAW resonators in a ladder type arrangement. Basically, it can be represented in and near the pass-band with resonant circuits using the BVD model. Although various kinds of RF BAW resonator filters have been proposed, only the ladder type is put into practice.

Figure 10 shows an example of a filter structure and Figure 11 shows an example of an equivalent circuit of a half-section of a ladder filter assuming that the resistance is negligible. The half-section of the filter consists of a series-arm resonator (R_1) and a parallel-arm resonator (R_2). A series-arm resonator has slightly higher resonance frequency than that of a parallel-arm resonator. The resonators R_1' and R_2' are synthesized resonators. R_1' has half-static capacitance of R_1 , and R_2' has twice static capacitance of R_2 .

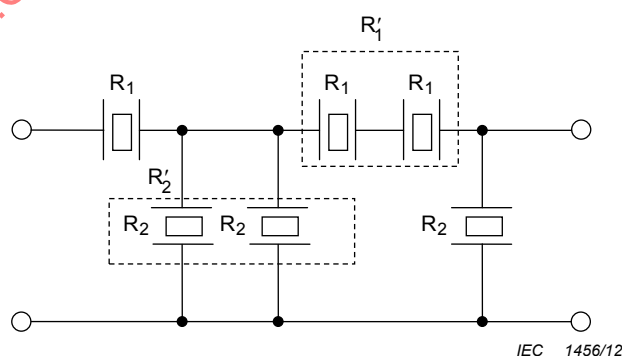


Figure 10 – Structure of ladder filter

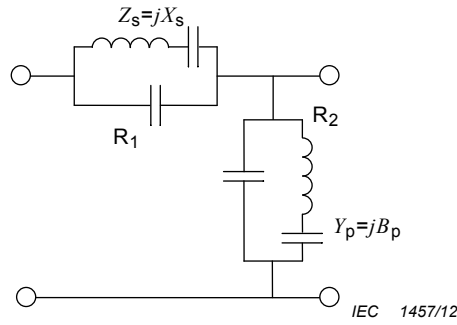


Figure 11 – Equivalent circuit of basic section of ladder filter

4.4.2 Principle of operation

Figure 12 shows the variations of X_s and B_p as a function of frequency, where X_s is the reactance of R_1 , and B_p is the susceptance of R_2 . Here, the anti-resonance frequency (f_{ap}) of the parallel-arm resonator is nearly equal to the resonance frequency (f_{rs}) of the series-arm resonator. The image transfer constant γ is expressed with X_s and B_p in the following equation:

$$\tanh \gamma = \sqrt{B_p X_s / (B_p X_s - 1)} \quad (15)$$

According to the theory of image-parameter filters, a filter shows a pass-band characteristic when γ is an imaginary number. On the other hand, it shows a stop-band characteristic when γ is a real number. Therefore, the condition $0 < B_p X_s < 1$ gives the pass-band, and the condition $B_p X_s > 1$ or $B_p X_s < 0$ gives the stop-band shown in Figure 12.

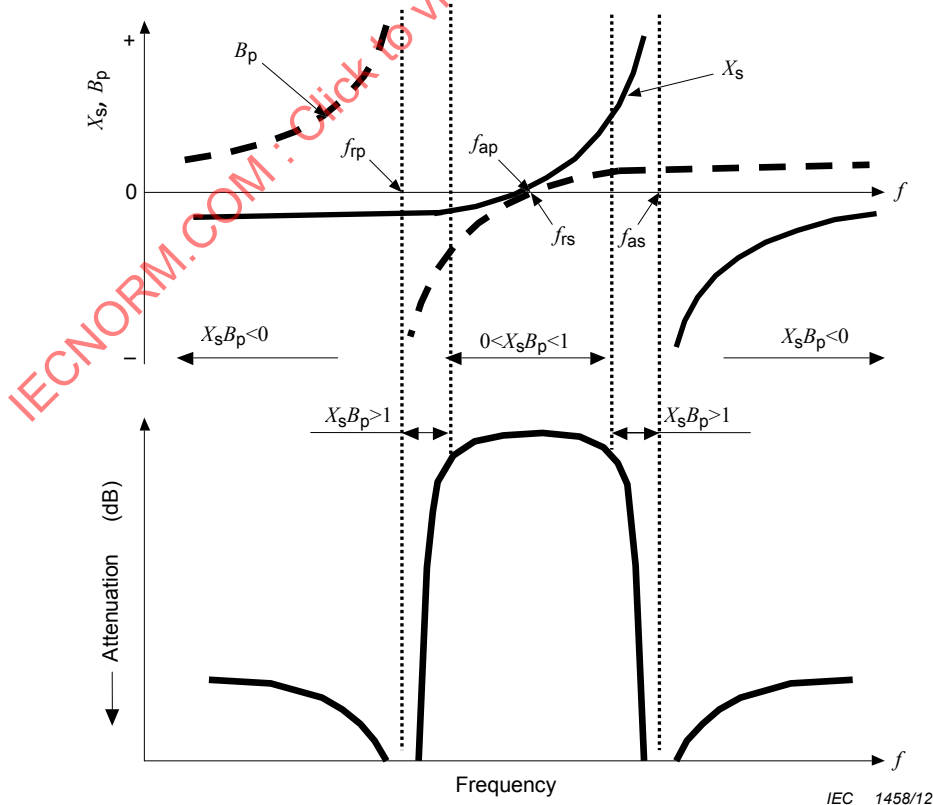


Figure 12 – Basic concept of ladder filter

4.4.3 Characteristics of ladder filters

The pass-band width of a ladder filter is affected by the employed piezoelectric material. Ideally it is effective to use an appropriate piezoelectric material having a high electromechanical coupling coefficient in order to obtain a filter with a wide pass-band. However, use of AlN is the only choice at least until now. This is because performances achieved by current AlN films are far beyond those of the other piezoelectric materials. The steepness of the pass-band edges is determined by the Q factor of the resonators while the insertion attenuation of a filter is determined by the figure of merit M of the resonators. The stop-band attenuation is basically determined by the static capacitance ratio of a parallel-arm resonator to a series-arm resonator and the stage number of the resonators' connection.

Figure 13 shows the frequency characteristics of a 1,9 GHz band-pass filter. The minimum insertion attenuation of less than 2 dB and the return attenuation of more than 10 dB were obtained without an external matching circuit.

This filter was designed so as to enhance the rejection around 2,14 GHz at the expense of its deterioration at frequencies lower than the pass-band. Such characteristic is realized using tiny parasitic inductances embedded in the filter package.

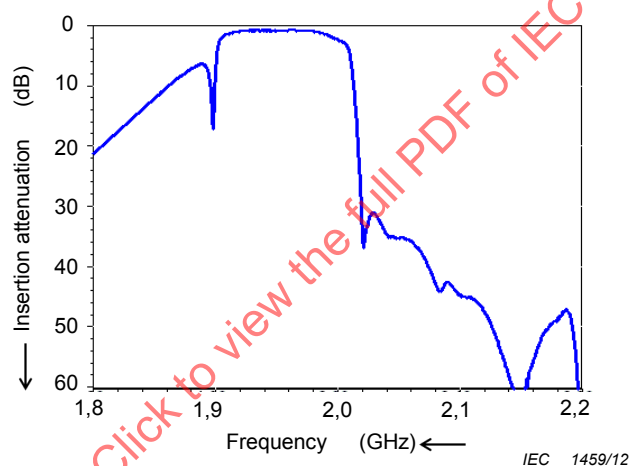


Figure 13 a) – Transmission characteristic

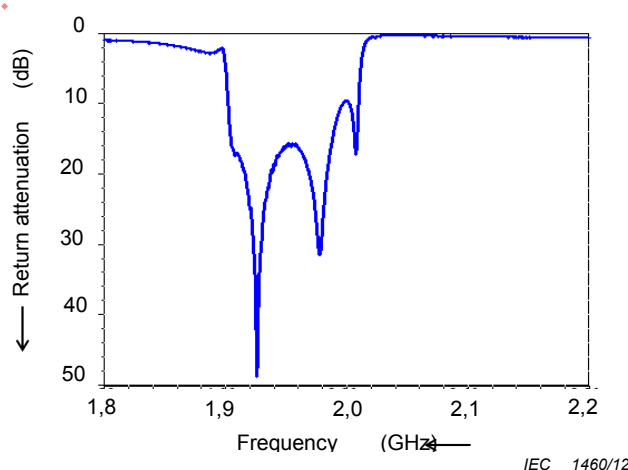


Figure 13 b) – Reflection characteristic

Figure 13 – Typical characteristics of a 1,9 GHz range ladder filter

5 Application guide

5.1 Application to electronics circuits

RF BAW filter characteristics are also influenced by electrical characteristics of peripheral circuits. In order to obtain a satisfactory performance, certain precautions are required.

Insertion attenuation for RF BAW filters is mainly caused by ohmic loss of metal electrodes, acoustic propagation loss due to scattering and/or viscosity, leakage loss from reflectors (SMR case), and lateral leakage loss to surroundings. It should be noted that AlN films are poly-crystalline, the propagation attenuation is significantly dependent on the film quality.

5.2 Availability and limitations

Because a RF BAW filter has a complex mechanical structure, there are numerous unwanted responses which may disturb the filter characteristics. Such unwanted responses shall be suppressed or reduced below a certain level. In practical use, long-term stability should also be considered.

a) Feed-through signals

Because feed-through signals travel directly between the input and output circuits due to the electrostatic or electromagnetic coupling, they appear at the output terminal instantly when the input voltage is applied. They cause ripple in the pass-band, and the frequency period (δf) is equal to $1/t$, where t is the delay of the main signals. Sometimes, they fill the frequency traps in the stop-band and degrade the stop-band characteristics.

b) Spurious resonances

Because of high Q , excitation of unnecessary acoustic waves will cause spurious resonances, which generate ripple in the pass-band and/or satellite peaks in the rejection-band. Inharmonics caused by the lateral wave propagation is a typical example.

c) Ageing performance

RF BAW filters exhibit excellent long-term stability as well as SAW filters. The long-term ageing rate depends on the input level of a RF BAW filter, the substrate mounting method, the atmosphere in which the substrate is located, etc.

5.3 Input levels

Drive level performance is limited by:

a) Electrode damage

This damage is irrecoverable. When an excessive drive level is applied, this often causes a flashover. Sometimes, physical erosion of the electrodes is also caused. This brings about centre frequency shift, pass-band distortion and insertion attenuation degradation. The RF signal drive level should be agreed upon with the manufacturer.

b) Frequency and/or response change

RF acoustic power is confined in a small volume. Therefore, RF BAW devices may exhibit non-linear characteristics at lower drive levels more easily than conventional bulk-wave devices.

6 Practical remarks

6.1 General

The incorrect usage of a RF BAW filter may at times result in its unsatisfactory performance. It is necessary to take care of direct feed-through, impedance matching conditions, etc.

6.2 Feed-through signals

Feed-through signals are caused mainly by the electrostatic and electromagnetic couplings between the input and output circuits.

There are several ways to reduce the feed-through. The most effective method is to employ a balanced (differential) circuit to cancel the undesirable coupling signals induced by stray capacitance (electrostatic) or current loop (electromagnetic). Integrated circuits (ICs) can easily adopt balanced input and/or balanced output circuits. A balanced output (input) RF BAW filter connected with a balanced input (output) IC is effective to reduce the feed-through. However, it is not effective to use a balun transformer to connect an unbalanced RF BAW filter with a balanced IC.

Another method to reduce the electrostatic feed-through is a shield between the input and output circuits on the printed circuit board (PCB). In practice, in most cases, some modifications to the circuit pattern on the PCB, especially the ground configuration, are effective.

In order to reduce the electromagnetic feed-through, it is effective to design the input and output circuit patterns so that the electromagnetic coupling induced by the current loop of the input circuit is totally cancelled at the output circuit. Thus, the circuit pattern should be designed so as to reduce or cancel both the electrostatic and the electromagnetic couplings.

In the case of high-frequency range and low terminating impedance, common residual impedance in input and output ground patterns (commonly called "ground loop") also results in the same effects as feed-through signals. In order to avoid common impedance, input and output ground patterns on the PCB should be designed separately.

6.3 Load and source impedance conditions

The load and source impedances affect the pass-band characteristics. The specified terminating (load) impedances have to be used to obtain the specified performance. A RF BAW filter is designed for specific impedance. Impedance mismatching increases the amplitude ripple and the insertion attenuation of the RF BAW filter.

7 Miscellaneous

7.1 Soldering conditions

Incorrect soldering methods or soldering conditions may at times damage the RF BAW filter or affect the filter characteristics undesirably. In order to prevent such deterioration, the soldering method has to be an allowable method and soldering conditions have to be within the allowable soldering temperature and time ranges. When the soldering is repeated, the cumulative soldering time should be within the allowable time.

7.2 Static electricity

The application of high static electricity may cause degradation or destruction of a RF BAW filter. It is necessary to take care not to apply static electricity or excessive voltage such as electrostatic discharge (ESD) while transporting, assembling and measuring.

8 Ordering procedure

When the requirements can be met by a standard item, it will be specified in the corresponding detail specification.

When the requirements cannot be met entirely by an existing detail specification, the specification should be referred to, together with a deviation sheet. In rare cases, where the differences are such that it is not reasonable to quote an existing detail specification, a new specification is to be prepared in a similar form to that already used for a standard detail specification.

The following checklist will be useful when ordering a RF BAW filter and should be considered in drawing up a specification.

a) Application

b) Description

c) Electrical requirements:

- Test fixture(s) and test circuit(s)
- Reference frequency
- Centre frequency
- Pass-band amplitude characteristics
 - Bandwidth
 - Minimum/nominal/maximum insertion attenuation
 - Pass-band ripple
 - Cut-off frequency (if necessary)
 - Other factors
- Transition-band characteristics (if necessary)
 - Amplitude characteristics
- Stop-band characteristics
 - Guaranteed relative insertion attenuation (____ MHz to ____ MHz)
 - Trap frequency (if necessary)
- Unwanted responses
 - Feed-through signal suppression
 - Intermodulation distortion
 - Other factors
- Impedances
- Input level
 - Absolute maximum input level
 - Testing input level
- Insulation resistance
- DC voltage overdrive
- Ageing
- Power capability
- Time/maximum temperature/signal waveform/signal frequency range (pass-band, stop-band) for power durability
- Other factors

d) Environmental requirements:

- Temperature ranges
 - Operable temperature range
 - Operating temperature range

- Storage temperature range
- Temperature cycling
- Soldering temperature
- Shock, vibration
- Acceleration
- Humidity
- Radiation
- Sealing
- Ageing
- Other factors (for example, electrostatic damage, etc.)

e) Physical requirements:

- Outline dimensions
- Marking
- Solderability
- Terminals and accessories
- Packaging form (for example, bulk, taping, magazine, etc.)
- Other factors (for example, weight, colour, etc.)

f) Inspection requirements:

- Applicable documents (related specifications)
- Inspection authority
- Type test
- Type test procedure
- Acceptable quality levels
- Other factors

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012

Bibliography

IEC 60368-2-1:1988, *Piezoelectric filters. Part 2: Guide to the use of piezoelectric filters – Section One: Quartz crystal filters*

IEC 60862-1:2003, *Surface acoustic wave (SAW) filters of assessed quality – Part 1: Generic specification*

IEC/TS 61994-1:2007, *Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection – Glossary – Part 1: Piezoelectric and dielectric resonators*

IEC/TS 61994-2:2011, *Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection – Glossary – Part 2: Piezoelectric and dielectric filters*

IEC 62047-7:2011, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 7: MEMS BAW filter and duplexer for radio frequency control and selection*

IEC 62575-1, *Radio frequency (RF) bulk acoustic wave (BAW) filters of assessed quality – Part 1: Generic specification*³

³ Under consideration.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	25
INTRODUCTION.....	27
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives.....	28
3 Aspects techniques	28
4 Aspects fondamentaux des filtres RF à OAV	29
4.1 Généralités.....	29
4.2 Aspects fondamentaux des résonateurs RF à OAV.....	30
4.3 Structure d'un résonateur RF.....	36
4.4 Filtres en échelle.....	38
4.4.1 Structure de base	38
4.4.2 Principe de fonctionnement	39
4.4.3 Caractéristiques des filtres en échelle	40
5 Guide d'application.....	41
5.1 Application aux circuits électroniques	41
5.2 Disponibilités et limitations	41
5.3 Niveaux d'entrée	42
6 Remarques pratiques	42
6.1 Généralités.....	42
6.2 Signaux de couplage direct	42
6.3 Conditions sur les impédances de la charge et de la source.....	43
7 Divers.....	43
7.1 Conditions de brasage.....	43
7.2 Electricité statique.....	43
8 Procédure de commande.....	43
Bibliographie.....	46
Figure 1 – Réponse en fréquence d'un filtre RF à OAV	29
Figure 2 – Gamme de fréquences et largeur de bande relative applicables des filtres RF à OAV par rapport à d'autres filtres	30
Figure 3 – Structure de base d'un résonateur OAV	31
Figure 4 – Modèle BVD	31
Figure 5 – Caractéristiques typiques d'impédance	32
Figure 6 – Caractéristiques typiques d'impédance des dispositifs RF à OAV.....	35
Figure 7 – Modèle BVD modifié.....	36
Figure 8 – Structures des FBAR.....	37
Figure 9 – Structure d'un SMR.....	38
Figure 10 – Structure d'un filtre en échelle.....	38
Figure 11 – Circuit équivalent de la section de base d'un filtre en échelle	39
Figure 12 – Concept de base d'un filtre en échelle.....	40
Figure 13 – Caractéristiques typiques d'un filtre en échelle dans la gamme de 1,9 GHz.....	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**FILTRES RADIOFRÉQUENCES (RF) À ONDES ACOUSTIQUES
DE VOLUME (OAV) SOUS ASSURANCE DE LA QUALITÉ –****Partie 2: Lignes directrices 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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62575-2 a été établie par le comité d'études 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques, diélectriques et électrostatiques et matériaux associés pour la détection, le choix et la commande de la fréquence.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
49/994/FDIS	49/999/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.

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

Une liste de toutes les parties de la série de normes CEI 62575, publiées sous le titre général *Filtres radiofréquences (RF) à onde acoustiques de volume (OAV) de qualité reconnue*, est disponible sur le site web de la CEI.

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012

INTRODUCTION

Les filtres RF à OAV sont aujourd'hui largement utilisés dans le domaine des communications mobiles. Bien que les filtres RF à OAV bénéficient de spécifications variées, un bon nombre d'entre eux peuvent être classés dans quelques catégories fondamentales.

Les spécifications normalisées données dans la CEI 62575 et les spécifications nationales ou les spécifications particulières fournies par les fabricants, définissent les combinaisons disponibles de fréquences nominales, de largeur de bande passant, d'ondulation, de facteur de forme, d'impédance aux bornes, etc. Ces spécifications sont compilées afin d'intégrer une large gamme de filtres RF à OAV présentant des performances normalisées. On ne saurait trop conseiller à l'utilisateur qu'il convient de choisir les filtres RF à OAV, dans la mesure du possible, à l'aide de ces spécifications lorsqu'elles sont disponibles, même si cela implique des modifications mineures du circuit pour permettre l'utilisation de filtres normalisés. Ceci s'applique en particulier à la sélection de la fréquence nominale.

La présente norme a été compilée en réponse à une demande de conseils, couramment exprimée par les utilisateurs et par les fabricants, sur l'utilisation des filtres RF à OAV, pour utiliser au mieux ces filtres. A cette fin, les caractéristiques générales et fondamentales ont été expliquées dans la présente partie de la CEI 62575.

La présente Norme n'est pas destinée à expliquer la théorie ni à couvrir toutes les situations qui peuvent apparaître dans la pratique. La présente Norme attire l'attention sur certains des aspects les plus importants qu'il convient qu'un utilisateur prenne en compte avant de passer commande pour des filtres RF à OAV pour une nouvelle application. Ainsi, l'utilisateur évitera d'être confronté à des performances non satisfaisantes.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62575-2:2012

FILTRES RADIOFRÉQUENCES (RF) À ONDES ACOUSTIQUES DE VOLUME (OAV) SOUS ASSURANCE DE LA QUALITÉ –

Partie 2: Lignes directrices d'emploi

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62575 donne des conseils pratiques sur l'utilisation des filtres RF à OAV utilisés dans le domaine des télécommunications, des équipements de mesure, des systèmes radar et des produits de grande consommation. Les informations générales, les valeurs normalisées et les conditions d'essai seront fournies dans une future norme CEI¹.

La présente partie de la CEI 62575 inclut différents types de configurations de filtres dont la gamme de fréquences de fonctionnement est comprise entre environ 500 MHz et 10 GHz et la largeur de bande relative est d'environ 1 % à 5 % de la fréquence centrale.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

Aucune.

3 Aspects techniques

Il est primordial pour l'utilisateur que les caractéristiques du filtre soient conformes à une spécification particulière. Pour satisfaire à cette spécification, il convient que la sélection des réseaux d'accord et des filtres RF à OAV fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Les caractéristiques des filtres sont généralement exprimées en termes d'affaiblissement d'insertion en fonction de la fréquence comme cela est représenté à la Figure 1. Une méthode normalisée pour mesurer un affaiblissement d'insertion est décrite en 5.5.2 de la CEI 60862-1:2003. Les caractéristiques de l'affaiblissement d'insertion sont davantage spécifiées par la fréquence nominale, l'affaiblissement d'insertion minimal ou l'affaiblissement d'insertion maximal, l'ondulation dans la bande passante et le facteur de forme. La spécification doit être satisfaite entre la température inférieure et la température supérieure de la gamme de températures de fonctionnement spécifiée et avant et après les essais d'environnement.

¹ Cette norme (à l'étude) portera le numéro de référence CEI 62575-1.

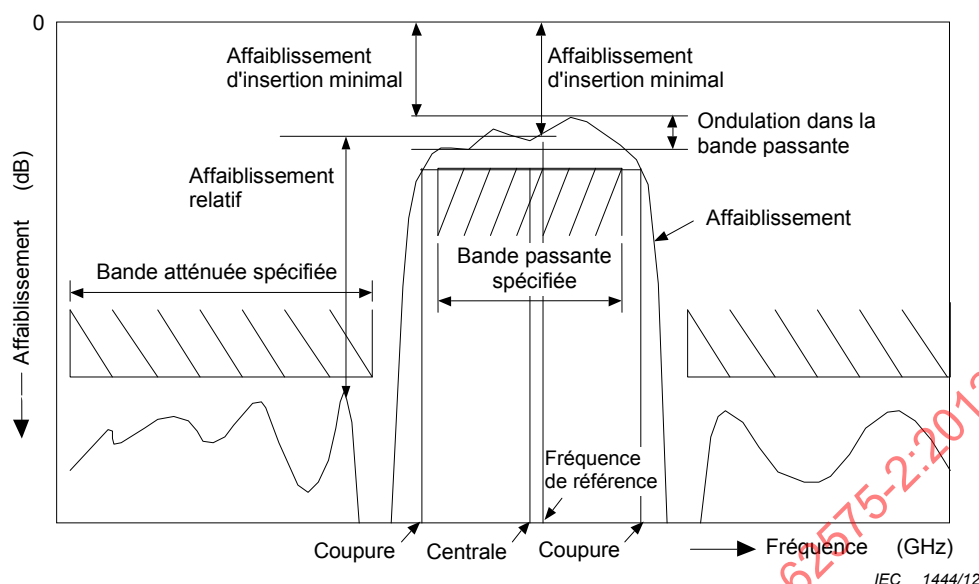


Figure 1 – Réponse en fréquence d'un filtre RF à OAV

4 Aspects fondamentaux des filtres RF à OAV

4.1 Généralités

Les caractéristiques des filtres RF à OAV sont une petite taille, un faible poids, pas d'ajustement, une grande stabilité et une fiabilité élevée. Les filtres RF à OAV apportent de nouvelles caractéristiques et applications aux filtres à ondes acoustiques de surface (OAS) et aux filtres à résonateurs diélectriques. De nos jours, les filtres RF à OAV présentant un faible affaiblissement d'insertion sont largement utilisés dans différentes applications fonctionnant dans la gamme des gigahertz.

Les filtres RF à OAV sont en phase de devenir rapidement des filtres miniatures à faible affaiblissement d'insertion populaires pour les applications des communications mobiles. Les filtres RF à résonateur à OAV peuvent facilement offrir un faible affaiblissement d'insertion et une taille inférieure à celle des filtres RF à OAS sur la même largeur de bande. Toutefois, leur largeur de bande réalisable est limitée par l'utilisation de matériaux piézoélectriques, les méthodes de conception, etc. Il est souhaitable que les utilisateurs comprennent ces facteurs liés aux filtres RF à résonateur à OAV. La présente Norme explique les principes et les caractéristiques des filtres RF à résonateur à OAV.

Les filtres RF à OAV utilisent généralement une configuration de filtre appelée filtre en échelle, composée de plusieurs résonateurs RF à OAV. Ils sont classés en deux types: les résonateurs à ondes acoustiques en volume à couches et les résonateurs montés sur miroir acoustique. La gamme des fréquences et la largeur de bande relative applicables des filtres RF à OAV sont représentées à la Figure 2 par rapport à celles des filtres en céramique, en cristal, à diélectrique, en hélice, à OAS et à rubans.

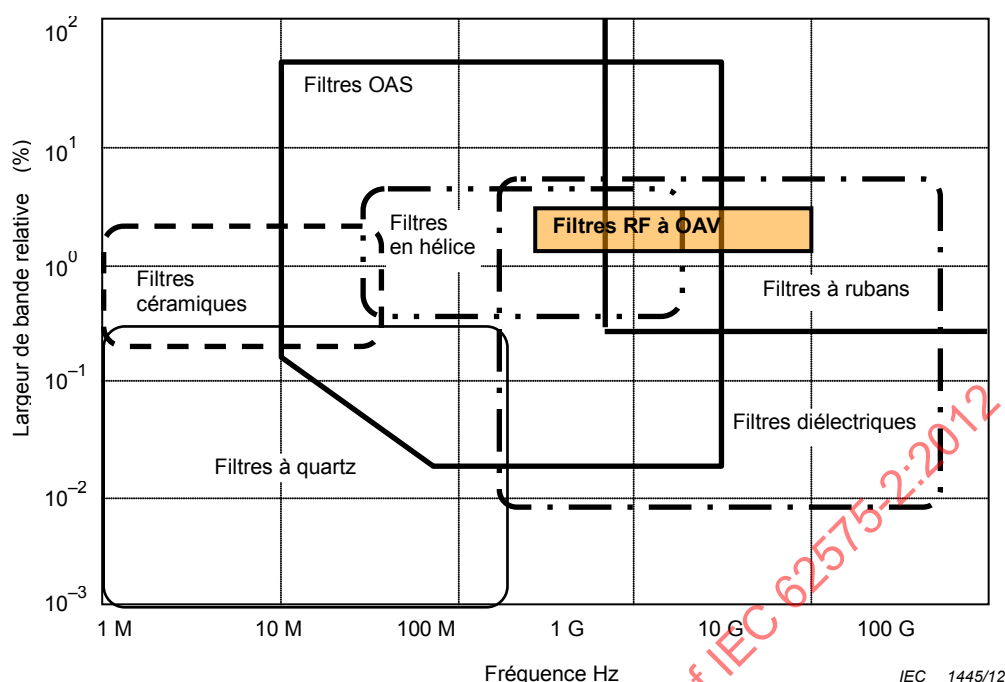


Figure 2 – Gamme de fréquences et largeur de bande relative applicables des filtres RF à OAV par rapport à d'autres filtres

4.2 Aspects fondamentaux des résonateurs RF à OAV

a) Résonance acoustique

Lorsqu'un impact mécanique est appliqué à une surface solide, des ondes acoustiques sont générées et une partie de leur énergie est transmise par des ondes acoustiques se propageant dans le volume. Ce type d'onde est appelé onde acoustique de volume (OAV). L'énergie restante peut être transférée par des ondes acoustiques se propageant le long de la surface. Ce type d'onde est appelé onde acoustique de surface (OAS).

Il existe deux types d'OAV: les OAV longitudinales ou OAV de dilatation qui se déplacent dans la direction de la propagation et les OAV transversales ou OAV de cisaillement qui se déplacent suivant la direction normale à la direction de propagation. Les vitesses d'une onde acoustique dans des solides sont de quelques centaines de mètres par seconde jusqu'à vingt mille mètres par seconde. Généralement, la vitesse des OAV longitudinales est plusieurs fois supérieure à celle des OAV de cisaillement pour une orientation et un matériau donnés.

Dans le cas de la propagation des ondes acoustiques dans une plaque parallèle, il est connu que la plaque cause une résonance mécanique (résonance d'épaisseur) lorsque l'épaisseur de la plaque h vaut la moitié d'un nombre entier de fois la longueur d'onde λ des ondes acoustiques se propageant dans la plaque normale à la surface de la plaque, c'est-à-dire $h = n\lambda/2$, où n est un nombre entier appelé l'ordre des modes. On obtient les fréquences de résonance mécanique à l'aide de l'équation f_r suivante

$$f_r = V/\lambda = nV/(2h) \quad (1)$$

où V est la vitesse de l'onde acoustique. L'équation (1) indique qu'en plus du plus petit ordre de résonance ($n=1$) appelé résonance fondamentale, une série d'ordres supérieurs ($n \neq 1$) peuvent être excités. Puisque f_r pour $n \neq 1$ sera un nombre entier de fois f_r pour $n=1$, on appelle souvent harmoniques ou résonances harmoniques, les résonances d'ordre supérieur. Lorsque l'OAV longitudinale est responsable de la résonance d'épaisseur, on l'appelle la

résonance d'extension d'épaisseur (TE: *Thickness Extensional*) alors que lorsque l'onde de cisaillement est responsable, on l'appelle résonance de cisaillement d'épaisseur (TS: *Thickness Shear*).

Des ondes acoustiques se propagent également le long de la surface supérieure de la plaque. Lorsque l'énergie des ondes est bien confinée à proximité de la surface supérieure et l'influence de la surface arrière est négligeable, les ondes sont appelées des ondes acoustiques de surface (OAS). Par ailleurs, lorsque l'énergie des ondes pénètre dans la plaque et l'influence de la surface arrière n'est pas négligeable, les ondes sont appelées des ondes planes ou ondes de Lamb.

b) Excitation et détection piézoélectriques

Dans le cas où une plaque piézoélectrique est entourée de deux électrodes parallèles (voir Figure 3), lorsqu'une tension électrique E est appliquée entre deux électrodes, une force mécanique est générée par l'effet piézoélectrique et un mouvement acoustique est induit. D'autre part, des charges électriques seront induites au niveau des électrodes par des champs électriques associés aux ondes acoustiques qui se propagent.

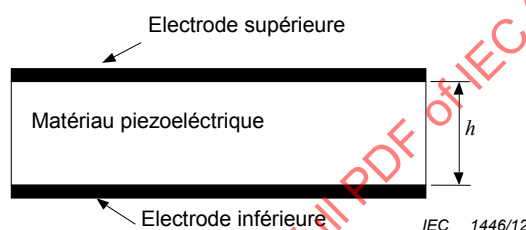


Figure 3 – Structure de base d'un résonateur OAV

On peut déduire de ces relations le circuit électromécanique équivalent représenté à la Figure 4. Sur la Figure 4, C_0 s'appelle la capacité effective sous contrainte issue du couplage électrostatique entre deux électrodes, et C_1 , L_1 et R_1 sont respectivement la capacité, l'inductance et la résistance de mouvement, issues de réaction mécanique, c'est-à-dire l'élasticité, l'inertie et l'amortissement, respectivement. Il s'agit du modèle de circuit de Butterworth-Van Dyke (BVD).

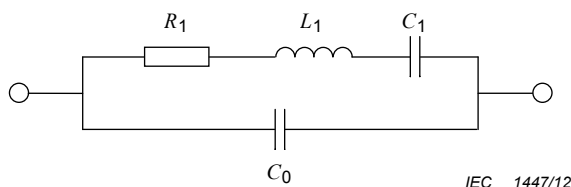


Figure 4 – Modèle BVD

La Figure 4 implique que les résonances mécaniques décrites ci-dessus peuvent être excitées et détectées électriquement par les électrodes. Notamment, ce dispositif sert de résonateur électrique. Ce type de résonateur est appelé résonateur OAV. Un choix approprié du matériau piézoélectrique offre un faible affaiblissement acoustique, ce qui entraîne une longue durée des vibrations mécaniques. Cette propriété mécanique se traduit au niveau électrique, par un facteur de qualité (Q) élevé du circuit de résonance électrique.

La Figure 5 représente des caractéristiques de résonance typiques calculées par le modèle BVD. Une résonance série apparaît à une fréquence f_r où l'impédance électrique Z entre deux électrodes devient purement résistive et très petite. D'après le modèle BVD, f_r est donnée par

$$f_r \approx 1/2\pi\sqrt{L_1 C_1} \quad (2)$$

D'autre part, à une fréquence f_a légèrement supérieure à f_r , une résonance parallèle apparaît où Z devient purement résistive et très grande. D'après le modèle BVD, f_a est donnée par

$$f_a \approx 1/2\pi\sqrt{L_1(C_1^{-1} + C_0^{-1})^{-1}} \quad (3)$$

Ces fréquences sont appelées fréquence de résonance et fréquence d'antirésonance, respectivement.²

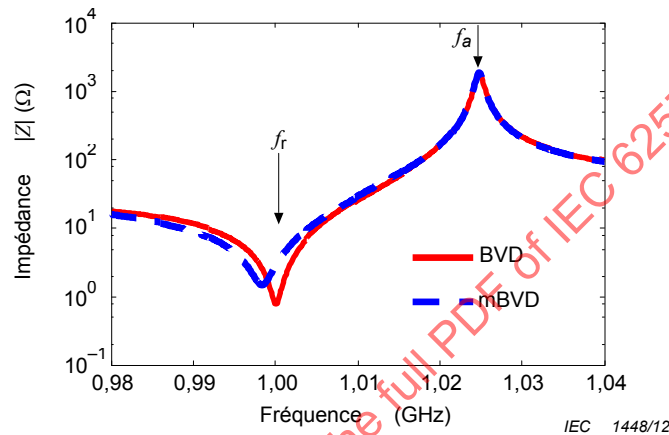


Figure 5 – Caractéristiques typiques d'impédance

Le rapport de capacité r est souvent utilisé comme mesure des performances du résonateur et il est défini par

$$r = [(f_a/f_r)^2 - 1]^{-1} \quad (4)$$

D'après le modèle BVD, r est donné par

$$r = C_0/C_1 \quad (5)$$

Dans la conception de filtres étudiée par la suite, r limite la largeur de bande des fréquences relatives réalisables pour les applications faisant intervenir des filtres.

A des fréquences bien plus petites que f_r , le résonateur est équivalent à un condensateur de capacité $C_0 + C_1 = C_0(1 + r^{-1})$, donnée par $\varepsilon S/h$, où ε est la constante diélectrique et S la surface de l'électrode. Ainsi, seule S permet d'ajuster C_0 puisque h est principalement déterminé par le réglage de la fréquence.

L'Équation 5 montre clairement que r indique une faiblesse de l'effet piézoélectrique. En fait, une analyse complète des ondes donne une relation entre f_r/f_a et le facteur de couplage

² Les fréquences f_m et f_n donnant $|Z|$ minimum et $|Z|$ maximum sont les fréquences d'admittance maximum et minimum ou les fréquences d'impédance minimum et maximum. Lorsque Q est élevé, f_m et f_n sont quasiment égales à f_r et f_a , respectivement.

électromécanique k_t^2 pour les vibrations longitudinales et dans l'épaisseur du matériau piézoélectrique sous la forme

$$k_t^2 = (n\pi f_r / 2f_a) / \tan(n\pi f_r / 2f_a) \quad (6)$$

Lorsque $f_r \cong f_a$, les Équations (3) et (5) deviennent

$$(f_a - f_r) / f_a \cong 1/2\gamma \cong \begin{cases} 4k_t^2 / n^2\pi^2 & n : \text{odd} \\ 0 & n : \text{even} \end{cases} \quad (7)$$

Ceci fait apparaître trois faits importants:

- 1) le rapport r réalisable est limité par k_t^2 du matériau piézoélectrique utilisé,
- 2) les fréquences partielles d'ordre pair ne peuvent pas être excitées électriquement, et
- 3) γ augmente rapidement lorsque n augmente.

Il convient de noter que les Équations (6) et (7) sont uniquement valides lorsqu'une couche piézoélectrique uniforme est entourée par deux électrodes extrêmement fines de conductance infinie. Puisque l'influence des électrodes n'est pas négligeable, comme il sera étudié par la suite, la force piézoélectrique de la structure du résonateur est souvent caractérisée par le facteur de couplage électromécanique efficace défini par

$$k_{t\text{eff}}^2 = (\pi f_r / 2f_a) / \tan(\pi f_r / 2f_a) \quad (8)$$

D'après le modèle BVD, le facteur Q à la fréquence f_r est donné par

$$Q_r = 2\pi f_r L_1 / R_1 \quad (9)$$

que l'on appelle souvent Q à la résonance ou Q_r . On peut également évaluer le facteur Q à la fréquence d'antirésonance. La valeur s'appelle le facteur Q à l'antirésonance ou Q_a . Dans la conception du filtre, Q_r et Q_a déterminent la raideur des bords de la bande passante pour les applications à filtres.

Pour la caractérisation d'un résonateur, le facteur de mérite M est défini par

$$M = Q_r / r \quad (10)$$

Dans la conception d'un filtre, M détermine l'affaiblissement d'insertion minimum réalisable.

Il est intéressant de noter que le modèle BVD indique que

$$M \cong 2\pi f_a C_0 Z_{\max} \cong 1/2\pi f_r C_0 Z_{\min} \quad (11)$$

où $Z_{\max}$ et $Z_{\min}$ sont les impédances électriques du résonateur à $f_n (\approx f_a)$ et $f_m (\approx f_r)$, respectivement. Ainsi, le rapport d'impédance $Z_{\max}/Z_{\min}$ est également utilisé pour la caractérisation du résonateur.

NOTE 1 Cette approximation est valide uniquement lorsque Q_r et r sont élevés.

c) Effets secondaires

Le fonctionnement élémentaire des résonateurs à OAV est assez bien simulé par l'utilisation du modèle BVD décrit ci-dessus. Cependant, dans les dispositifs réels, divers effets secondaires apparaissent, et leurs influences doivent être bien contrôlées pour la conception et la production des dispositifs. Les principaux effets secondaires sont:

1) La propagation des ondes latérales

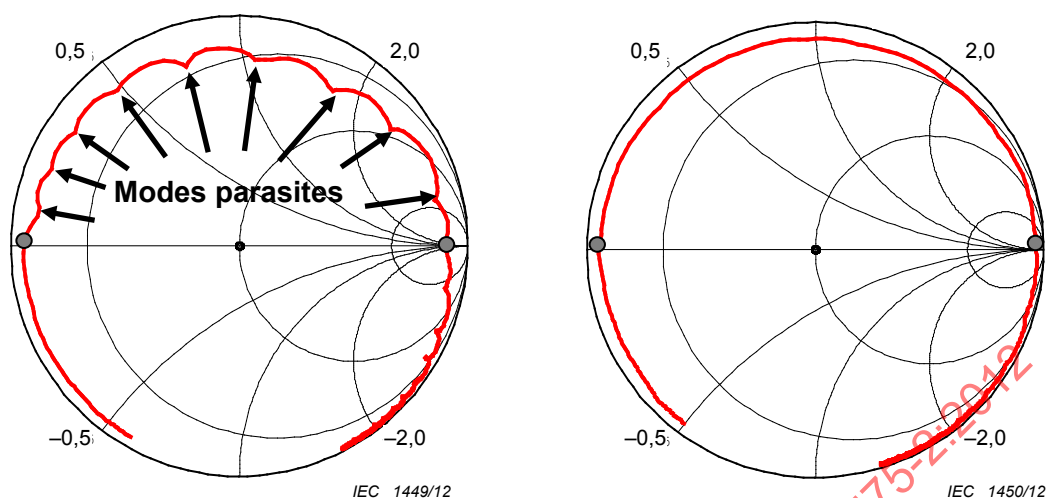
A des fréquences proches de la résonance, les ondes de Lamb sont excitées et se propagent le long de la surface. Une dissipation de l'énergie des ondes entraîne une réduction du facteur Q à la résonance principale. Si la structure du résonateur est conçue pour confiner l'énergie des ondes, le facteur Q à la résonance peut être préservé, alors qu'il peut être à l'origine de résonances indésirables, souvent appelées résonances parasites. Puisque la taille latérale de la structure est généralement bien plus large que la longueur d'onde des OAV, la séparation des fréquences entre les résonances est étroite. On appelle 'inharmoniques' ces résonances parasites. La surface supérieure du résonateur prend parfois la forme d'un polygone irrégulier pour étaler les crêtes de résonances parasites.

2) Impédances parasites

Les résistances ohmiques, les capacités parasites et les inductances des électrodes et des plages de contact ne sont pas négligeables en radiofréquences (RF).

La Figure 6 représente un tracé polaire (diagramme de Smith) du coefficient de retour Γ de deux résonateurs RF à OAV. Γ est donné par $(Z-R_0)/(Z+R_0)$, où Z est l'impédance du dispositif et R_0 est l'impédance caractéristique du système de mesure. La trace tourne dans le sens horaire avec la fréquence. Le point le plus à gauche et le point le plus à droite de la trace correspondent à la fréquence de résonance et à la fréquence d'antirésonance, respectivement. Des séries d'inharmoniques sont représentées sur la Figure 6 a). Il convient de noter que les fréquences partielles apparaissent uniquement au-delà de la fréquence de résonance. Cette propriété appelée la coupure indique qu'elles sont dues à la propagation des ondes latérales.

L'application d'une technologie appropriée permet de supprimer presque entièrement les inharmoniques comme cela est représenté sur la Figure 6 b). En outre, on constate que la trace est proche du cercle extérieur, à savoir $|\Gamma|$ proche de 1. Ceci indique que la propagation des ondes latérales peut être un des mécanismes d'affaiblissement les plus importants.



a) avant suppression des résonances parasites

b) après suppression des résonances parasites

Figure 6 – Caractéristiques typiques d'impédance des dispositifs RF à OAV

Le modèle BVD est souvent modifié pour prendre ces effets en compte. La Figure 7 montre un exemple dans lequel la résistance série R_s et la résistance parallèle R_0 sont ajoutées pour exprimer la variation de dissipation d'énergie en fonction de la fréquence, et L_s exprime l'inductance des électrodes d'interconnexion et/ou des fils de liaison.

NOTE 2 Une modification du circuit équivalent n'est pas unique. Par exemple, R_0 à la Figure 7 est parfois placée en parallèle avec C_0 et non en série.

Même si L_s et/ou R_s sont petits, leur influence est importante à proximité de la fréquence de résonance où $|Z|$ devient très petit. Ce modèle BVD modifié donne la fréquence de résonance f_r et le facteur Q à la résonance, Q_r , suivant:

$$f_r \approx 1/2\pi\sqrt{(L_s + L_1)C_1} \quad (12)$$

et

$$Q_r = 2\pi f_r (L_1 + L_s)/(R_1 + R_s) \quad (13)$$

respectivement. Par ailleurs, l'influence de R_0 est importante à proximité de la fréquence d'antirésonance où $|Z|$ devient très élevée. Ce modèle BVD modifié donne le facteur Q à l'antirésonance, Q_a , suivant

$$Q_a = 2\pi f_a L_1/(R_1 + R_0) \quad (14)$$

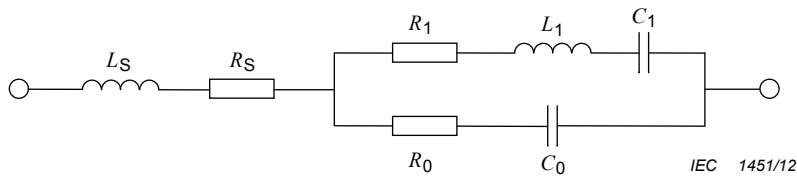


Figure 7 – Modèle BVD modifié

La Figure 5 compare l'impédance électrique $|Z|$ donnée par ce modèle BVD modifié avec celle donnée par le modèle d'origine. Dans ce calcul, R_0 est mis à zéro. On constate que f_r et Q_r diminuent légèrement alors que f_a et Q_a ne varient pas. Il convient de noter que le modèle BVD d'origine indique $Q_r \approx Q_a$, mais ce n'est pas vrai en général.

Puisque L_s augmente effectivement k_{teff}^2 , elle est souvent utilisée de manière positive pour améliorer les performances du filtre. Par ailleurs, la capacité parasite entre les bornes augmente effectivement C_0 , ce qui entraîne une diminution de k_{teff}^2 . Ainsi le boîtier du dispositif doit être conçu conjointement avec la puce du dispositif à OAV afin d'optimiser les performances globales du dispositif.

4.3 Structure d'un résonateur RF

Pour les applications dont les fréquences sont inférieures à quelques dizaines de MHz, les résonateurs à OAV peuvent être produits en série par amincissement et polissage des matériaux piézoélectriques. Pour les fréquences plus élevées, puisque l'épaisseur h requise est de l'ordre des micromètres, les technologies des couches minces s'appliquent à la place d'un traitement mécanique. Bien que l'utilisation des fréquences partielles avec $n \neq 1$ constitue un autre choix, elle entraîne une augmentation importante de r .

Le nitrure d'aluminium (AlN) est largement utilisé comme couche piézoélectrique pour les résonateurs RF à OAV en raison de ses nombreuses caractéristiques: faible affaiblissement de propagation, résistivité électrique élevée et croissance possible de couches de haute qualité sur les électrodes métalliques inférieures. Bien que différents matériaux comme l'oxyde de zinc (ZnO), le titano-zirconate de plomb (PZT), etc., aient été largement étudiés, les performances réalisées sont bien inférieures à celles atteintes par l'AlN et peu pratiques à utiliser.

Le manque de choix de matériau limite l'applicabilité des filtres RF à OAV. C'est-à-dire, r limitant la largeur de bande du filtre est principalement déterminé par le matériau piézoélectrique, comme cela est indiqué en 4.2. Le molybdène, le ruthénium, le tungstène, etc., sont utilisés pour les électrodes parce que leur forte impédance acoustique offre une légère diminution de r ou augmentation de k_{teff}^2 et constituent une bonne couche de croissance de l'AlN.

Les résonateurs RF à OAV sont classés dans deux catégories.

Le premier type est appelé résonateur à ondes acoustiques en volume à couches (FBAR: *Film Bulk Acoustic Wave Resonator*) qui utilise une membrane libre soutenue au niveau des bords latéraux. Trois types de structures FBAR ont été proposés. La Figure 8 a) représente une structure utilisant une cavité d'air créée par gravure de la face arrière du substrat de soutien. Les Figures 8 b) et 8 c) représentent les structures utilisant une cavité d'air créée par gravure d'une couche située sous la structure du résonateur une fois sa fabrication terminée.

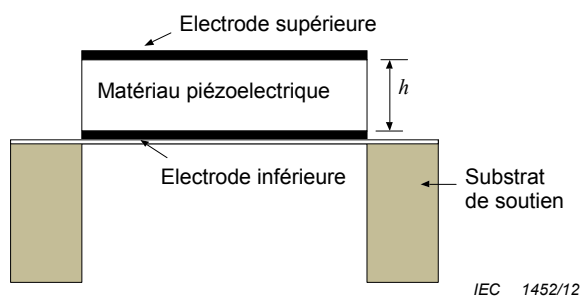


Figure 8 a) – Face arrière gravée

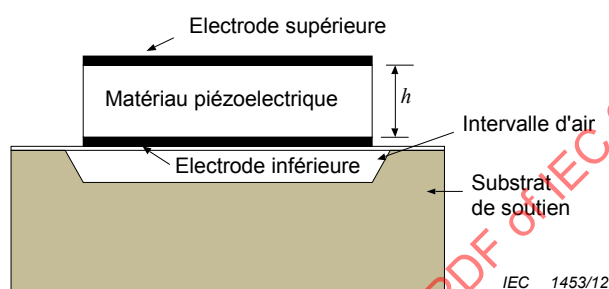


Figure 8 b) – Face avant gravée

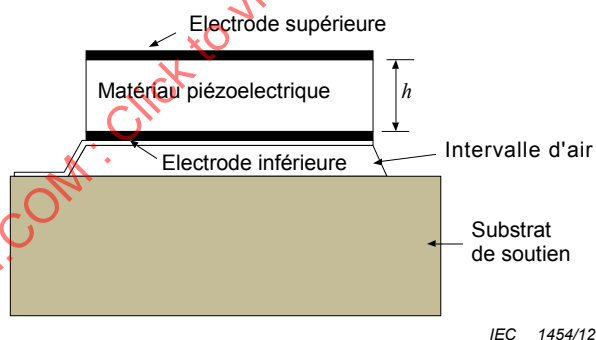


Figure 8 c) – Couche sacrificielle gravée

Figure 8 – Structures des FBAR

Le second type est appelé résonateur monté sur miroir acoustique (SMR: *Solidly Mounted Resonator*). Il utilise un miroir acoustique qui offre une isolation acoustique par rapport au substrat et un contact physique serré avec ce dernier. La Figure 9 montre la structure d'un SMR. Le miroir est composé de plusieurs couches avec différentes impédances acoustiques. Par exemple, une combinaison de W et SiO₂ est appropriée et quelques couches suffisent à produire une bonne réflexion. Chaque couche est conçue avec une épaisseur d'environ un quart d'onde pour donner une réflexion optimale à la fréquence de fonctionnement prévue.

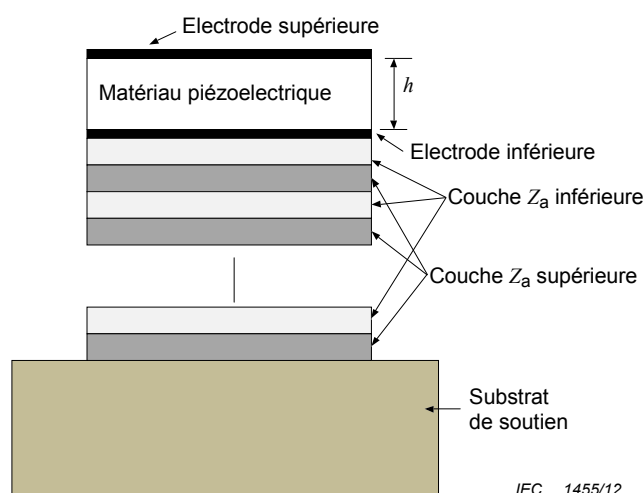


Figure 9 – Structure d'un SMR

4.4 Filtres en échelle

4.4.1 Structure de base

Les filtres de type en échelle sont constitués de résonateurs à OAV en série et en parallèle disposés en échelle. Fondamentalement, elle peut être représentée dans et à proximité de la bande passante avec des circuits résonants en utilisant le modèle BVD. Bien que différents types de filtres à résonateurs RF à OAV aient été proposés, seul le type en échelle est mis en pratique.

La Figure 10 donne un exemple de structure de filtre et la Figure 11 donne un exemple de circuit équivalent de demi-section d'un filtre en échelle en supposant que la résistance est négligeable. La demi-section du filtre est constituée d'un résonateur à branches en série (R_1) et d'un résonateur à branches en parallèle (R_2). Un résonateur à branches en série présente une fréquence de résonance légèrement supérieure à celle d'un résonateur à branches en parallèle. Les résonateurs R_1' et R_2' sont des résonateurs synthétisés. La capacité statique de R_1' est la moitié de R_1 , et la capacité statique de R_2' est le double de R_2 .

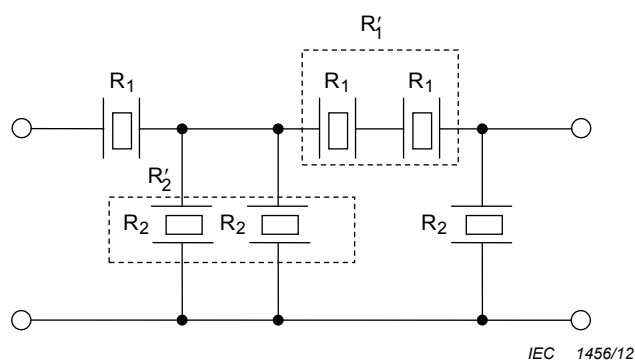


Figure 10 – Structure d'un filtre en échelle