

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 7: Filtre et duplexeur BAW MEMS pour la commande et le choix des
fréquences radioélectriques**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 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
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

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.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



IEC 62047-7

Edition 1.0 2011-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 7: Filtre et duplexeur BAW MEMS pour la commande et le choix des
fréquences radioélectriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88912-537-1

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
3.1 General terms	6
3.2 Related with BAW filter.....	7
3.3 Related with BAW duplexer	9
3.4 Characteristic parameters	10
3.4.1 BAW resonator	10
3.4.2 BAW filter and duplexer	13
3.4.3 Temperature characteristics	16
4 Essential ratings and characteristic parameters.....	16
4.1 Resonator, filter and duplexer marking	16
4.2 Additional information.....	17
5 Test methods	17
5.1 Test procedure	17
5.2 RF characteristics	19
5.2.1 Insertion attenuation, IA.....	19
5.2.2 Return attenuation, RA	20
5.2.3 Bandwidth	21
5.2.4 Isolation	21
5.2.5 Ripple.....	22
5.2.6 Voltage standing wave ratio (VSWR)	22
5.2.7 Impedances of input and output.....	23
5.3 Reliability test method	23
5.3.1 Test procedure	23
Annex A (informative) Geometries of BAW resonators	25
Annex B (informative) Operation of BAW resonators	26
Bibliography.....	28
Figure 1 – Basic structure of BAW resonator.....	7
Figure 2 – Topologies for BAW filter design	8
Figure 3 – Frequency responses of ladder and lattice type BAW filters	8
Figure 4 – An example of BAW duplexer configuration.....	9
Figure 5 – Equivalent circuit of BAW resonator (one-port resonator)	10
Figure 6 – Measurement procedure of BAW filters and duplexers	18
Figure 7 – Electrical measurement setup of BAW resonators, filters and duplexers.....	19
Figure 8 – Insertion attenuation of BAW filter	20
Figure 9 – Return attenuation of BAW filter.....	21
Figure 10 – Isolation (<i>Tx-Rx</i>) of BAW duplexer	22
Figure 11 – Ripple of BAW filter.....	22
Figure 12 – Smith chart plot of input and output impedances of BAW filter.....	23
Figure 13 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of BAW resonators and filters	24

Figure A.1 – Geometry comparison of BAW resonators..... 25
Figure B.1 – Modified BVD (Butterworth-Van Dyke) equivalent circuit model..... 27

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –**

**Part 7: MEMS BAW filter and duplexer
for radio frequency control and selection**

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 62047-7 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47F/79/FDIS	47F/87/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.

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 publication using a colour printer.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 7: MEMS BAW filter and duplexer for radio frequency control and selection

1 Scope

This part of IEC 62047 describes terms, definition, symbols, configurations, and test methods that can be used to evaluate and determine the performance characteristics of BAW resonator, filter, and duplexer devices as radio frequency control and selection devices. This standard specifies the methods of tests and general requirements for BAW resonator, filter, and duplexer devices of assessed quality using either capability or qualification approval procedures.

2 Normative references

Void.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1 General terms

3.1.1

bulk acoustic wave

BAW

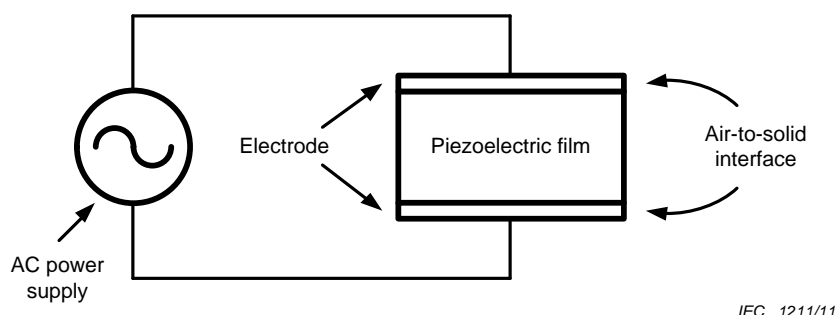
acoustic wave propagating in a bulk body

3.1.2

BAW resonator

resonator employing bulk acoustic wave

NOTE BAW resonator consists of piezoelectric material between top and bottom electrodes, as shown in Figure 1. The top and bottom electrodes which can be made to vibrate in a vertical direction of the deposited piezoelectric film. The electrodes are either two air-to-solid interfaces or an acoustic Bragg reflector and an air-to-solid interface. The former is often called the film bulk acoustic resonator (FBAR), and the latter is called the solidly-mounted resonator (SMR).



Key

Layers of a piece of BAW resonator

Electrode To provide electrical input to a body of piezoelectric film and electrical connections with a external circuit

Piezoelectric film Body layer of a kind of BAW resonator

Air to solid interface

Components to operate a BAW resonator

AC power supply Electric power supply to vibrate a BAW resonator

Figure 1 – Basic structure of BAW resonator

3.1.3 electrode

electrically conductive plate in proximity to or film in contact with a face of the piezoelectric film by means of which a polarizing or driving field is applied to the element

[IEC/TS 61994-1, 3.21]

3.1.4 piezoelectric film

film which has piezoelectricity

NOTE Piezoelectric films can be distinguished as non-ferroelectric and ferroelectric materials. The non-ferroelectric materials, such as AlN (aluminium nitride) and ZnO (zinc oxide) have low dielectric constant, small dielectric loss, good hardness, and excellent insulating properties. Thus, they are good for microwave resonator and filter applications. The ferroelectric materials, such as PZT (lead-zirconate-titanate) and PLZT (lead-lanthanum-zirconate) have high dielectric constant, large dielectric loss, and fair insulating properties. Thus, they are good for memory and actuator applications.

3.1.5 direct piezoelectric effect

effect which a mechanical deformation of piezoelectric material produces a proportional change in the electric polarization of that material

3.1.6 converse (or reverse) piezoelectric effect

effect which mechanical stress proportional to an acting external electric field is induced in the piezoelectric material

NOTE Converse piezoelectric effect is widely being used for acoustic wave resonators and filters, resonant sensors, oscillators, ultrasonic wave generators, and actuators. Direct piezoelectric effect is usually applied for various piezoelectric sensors and voltage generators.

3.2 Related with BAW filter

Figure 2 shows topologies for BAW filter design.

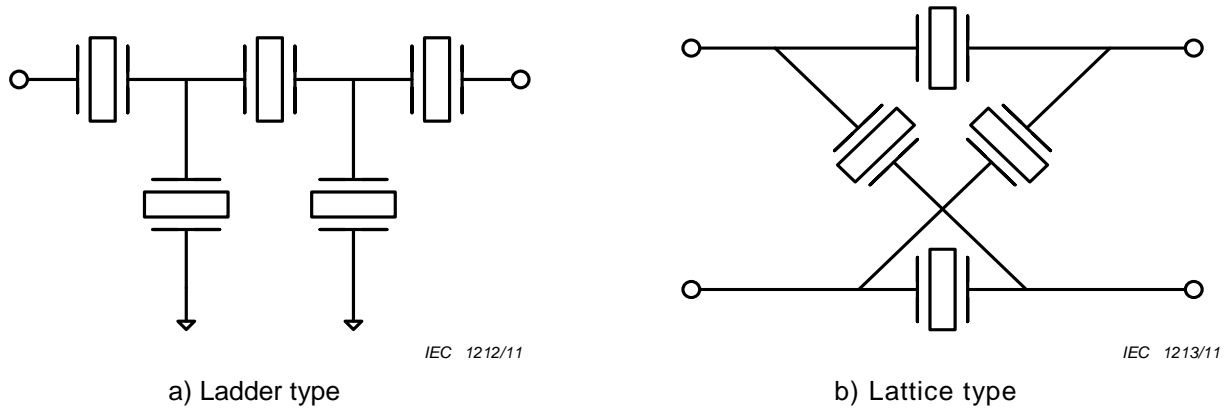


Figure 2 – Topologies for BAW filter design

NOTE BAW resonators are connected in series and parallel for forming electrical filters, as shown in Figure 2. The resonant frequencies of series and parallel resonators should be different to secure the bandwidth of the BAW filter.

3.2.1 ladder filter

filter having a cascade or tandem connection of alternating series and shunt BAW resonators

NOTE BAW resonator connected in series should have slightly higher resonant frequency than that of a parallel BAW resonator. The parallel resonant frequency of the parallel BAW resonator needs to be equal to the series resonant frequency of the series BAW resonator in the filter geometry shown in Figure 2. It gives a steep roll-off, but poor stop-band rejection characteristics as shown in Figure 3a). Thus, helper inductors are usually given to improve the isolation, and in general, the out-of-band rejection far from the passband becomes worse.

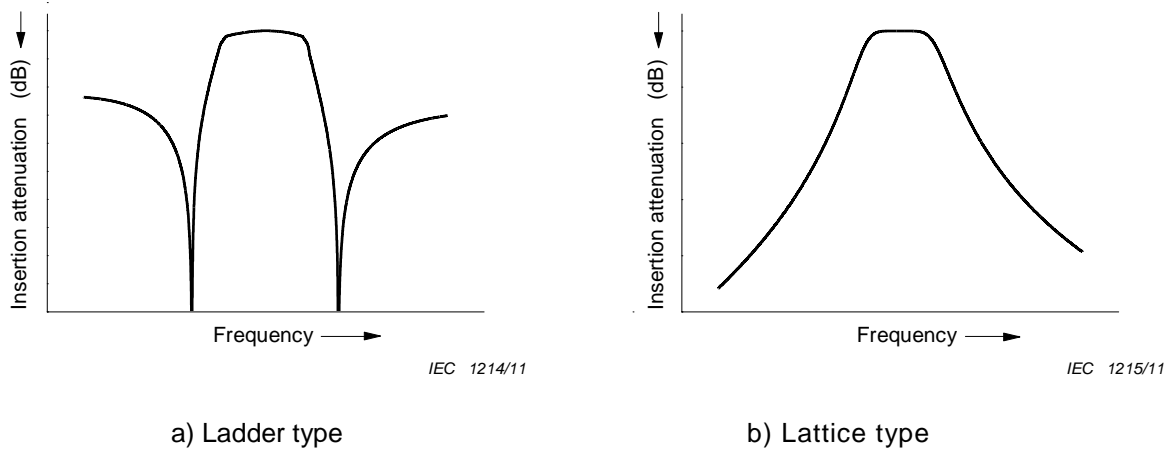


Figure 3 – Frequency responses of ladder and lattice type BAW filters

3.2.2 lattice filter

filter having two pairs of resonators electrically coupled in a bridge network, with one pair of resonators in a series arm and the other pair in a shunt arm

[IEC 60862-1: 2003, 2.2.3.8 modified]

NOTE Lattice type filter need more resonators than ladder type one, sine it needs two resonators to synthesize one pole and one transmission zero from the transfer function. The pass-band is obtained when one pair of resonators behaves inductive while the other pair of resonators behaves capacitive. Unlike the ladder type filter, it gives a deep stop-band rejection and good power handling capability, but smooth roll-off characteristics as shown in Figure 3 b).

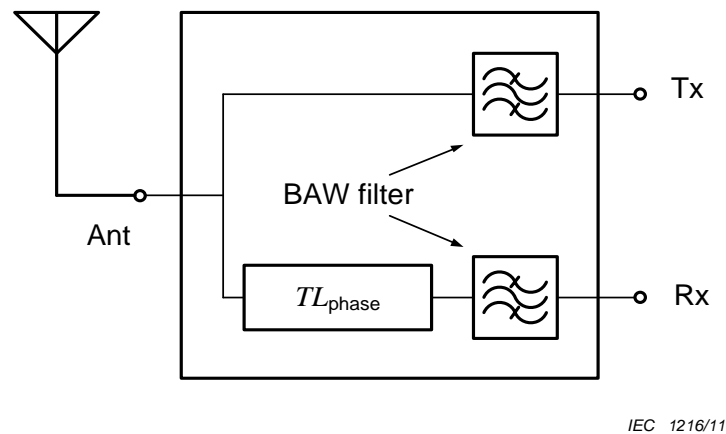
3.2.3

helper inductor

inductor connected with shunt resonators of ladder BAW filter

3.3 Related with BAW duplexer

Figure 4 shows an example of BAW duplexer configuration.



Key

<i>Tx</i>	transmitting port	<i>Rx</i>	receiving port
<i>Ant</i>	antenna port	TL_{phase}	phase delay line

Figure 4 – An example of BAW duplexer configuration

NOTE Two different BAW filters, transmitting and receiving band pass filters, are connected with a quarter wavelength phase shifter, phase delay line, or parallel inductor on a package substrate for forming a duplexer, as shown in Figure 4. In order to improve isolation characteristics between these transmitting and receiving filters, via grounds should be well formed onto the package substrate. Series and shunt inductors are added into the *Tx* and *Rx* filters in order to improve its attenuation, roll-off, and ripple characteristics.

3.3.1

transmitting band pass filter

Tx

band pass filter used at the transmitter of the RF system which transmits a signal to the antenna

3.3.2

receiving band pass filter

Rx

band pass filter used at the receiver of the RF system which receives a signal from the antenna

3.3.3

phase delay line

transmission line to delay a signal from a port to the antenna or isolate the transmitter and receiver

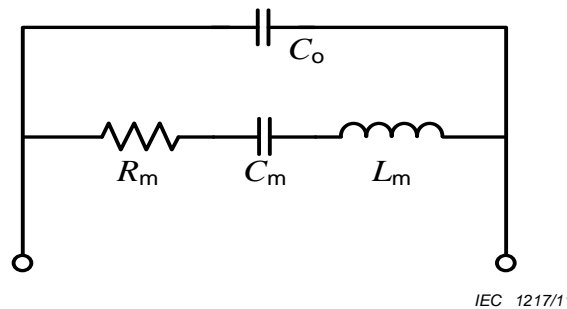
3.4 Characteristic parameters

3.4.1 BAW resonator

3.4.1.1 equivalent circuit (of BAW resonators)

electrical circuit which has the same impedance as a piezoelectric resonator in the immediate neighborhood of resonance

NOTE For example, one port BAW resonator consists of series elements L_m , C_m , R_m in parallel with C_o as shown in Figure 5, where L_m , C_m , R_m represent the motional inductance, capacitance, and resistance, respectively. C_o represents the shunt capacitance. Sometimes, another resistance R_s is added in series with an input terminal for taking account of electrode and interconnection resistance.



Key

C_o	shunt capacitance	R_m	motional resistance
C_m	motional capacitance	L_m	motional inductance

Figure 5 – Equivalent circuit of BAW resonator (one-port resonator)

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.25 modified]

3.4.1.2 nominal frequency

frequency assigned by the specification of the resonator

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.58 modified]

3.4.1.3 resonant frequency (or series resonant frequency)

f_r
lower frequency of the two frequencies of a piezoelectric resonator vibrating alone under specified conditions, at which the electrical impedance of the resonator is resistive

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.81 modified]

3.4.1.4 anti-resonant frequency (parallel resonant frequency, f_p)

f_a
the higher frequency of two frequencies of a piezoelectric resonator vibrating alone. An approximate value of this frequency is given by the expression

$$f_p = 1/2\pi\sqrt{L_m C_m C_o / (C_m + C_o)} \tag{1}$$

where

C_o represents the shunt capacitance; and

L_m and C_m are the motional inductance and capacitance

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.3, 3.69 modified]

3.4.1.5 motional (series) resonant frequency

f_s
resonant frequency of the motional or series arm of the equivalent circuit of the resonator, it is defined by the following formula

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} \quad (2)$$

where

L_m and C_m represent the motional inductance and capacitance respectively .

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.55 modified]

3.4.1.6 fundamental resonance

lowest resonance mode in a given family of vibration

3.4.1.7 spurious resonance

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

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.86 modified]

3.4.1.8 spurious resonance rejection level

difference between the maximum level of spurious resonances and the minimum insertion attenuation

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.87 modified]

3.4.1.9 unwanted response

state of resonance of a resonator other than that associated with the mode of vibration intended for the application

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.99 modified]

3.4.1.10 capacitance ratio

r
ratio of the parallel capacitance C_0 to the motional capacitance C_m

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.7 modified]

3.4.1.11 motional capacitance

C_m
capacitance of the motional or series arm of the resonator equivalent circuit

3.4.1.12
motional inductance

L_m
inductance of the motional or series arm of the resonator equivalent circuit

3.4.1.13
motional resistance

R_m
resistance of the motional or series arm of the resonator equivalent circuit

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.52 modified]

3.4.1.14
shunt capacitance

C_0
capacitance in parallel with the motional arm of the resonator equivalent circuit which is caused by the energy leakage and dielectric loss of the piezoelectric film

3.4.1.15
figure of merit
FOM or M

factor indicating performance of the device, product of both k_{eff}^2 and Q , which indicates the activity of the resonator, and the value usually given by Q/r , where Q is the Q factor and r is the ratio of capacitances at low frequencies

[IEC/TS 61994-1: 2007 modified]

3.4.1.16
electromechanical coupling factor

certain combination of elastic, dielectric and piezoelectric constants which appears naturally in the expression of impedance of a resonator. A different factor arises in each particular family of mode of vibration. The factor is closely related to the relative frequency spacing and is a convenient measure of piezoelectric transduction. Alternatively, the coupling factor may be interpreted as the square root of the ratio of the electrical or mechanical work which can be accomplished to the total energy stored from a mechanical or electrical power source for a particular set of boundary conditions

[IEC/TS 61994-1: 2007, 3.22 modified]

3.4.1.17
relative frequency spacing

B_s
ratio of the difference between the parallel resonance frequency f_p and the series resonance frequency f_s in a given mode of vibration, to the series resonance frequency

$$B_s = (f_p - f_s) / f_p \quad (3)$$

[IEC TS61994-1: 2007, 3.80 modified]

3.4.1.18
effective electromechanical coupling factor

k_{eff}^2
the effective electromechanical coupling factor for thickness-longitudinal vibration is defined as follows:

$$k_{\text{eff}}^2 = \left(\frac{\pi f_r}{2 f_a} \right) / \left\{ \tan \left(\frac{\pi f_r}{2 f_a} \right) \right\} \quad (4)$$

when the piezoelectric film is mechanically isolated from surroundings such as electrodes

3.4.1.19 electromechanical coupling factor (of piezoelectric material)

K^2

figure indicating piezoelectric strength of piezoelectric material is defined as follows:

$$k_{\text{eff}}^2 = \frac{K^2}{(1 + K^2)} \quad (5)$$

NOTE It depends not only materials but also the wave type and the wave propagation direction and polarization.

3.4.1.20 quality factor (for a series resonant circuit of BAW resonator)

Q

factor how long stored energy is preserved in a device and is defined as follows:

$$Q = 2\pi f_r L_m / R_m \quad (6)$$

where

f_r is the resonance frequency;

L_m is the motional inductance;

R_m is the motional resistance

[IEC/TS61994-1: 2007, 3.77 modified]

NOTE The Q of a resonator is a measure of the losses in the device. The possible dissipative losses are resistances in the electrodes, visco-acoustic loss in all of the materials, acoustic scattering from rough surfaces or material defects, and acoustic radiation into the surrounding areas of the BAW device.

3.4.1.21 long-term parameter variation

relationship which exists between any parameter (for example resonance frequency) and time

3.4.2 BAW filter and duplexer

3.4.2.1 shape factor

ratio of the two bandwidths limited by two specified attenuation value

3.4.2.2 transition band

band of frequencies between a cut-off frequency and the nearest point of the adjacent stop band

3.4.2.3 roll off rate

ratio of transition band to the ideal cut off frequency, which is an index describing the increasing characteristics of BAW filters

3.4.2.4 attenuation

decrease in intensity of a signal, beam, or wave as a result of absorption of energy and of scattering out of the path to the detector, but not including the reduction due to geometric spreading

3.4.2.5

insertion attenuation

IA

logarithmic ratio of the power delivered to the load impedance before and after insertion of the filter and duplexer

3.4.2.5.1

minimum insertion attenuation

minimum value of insertion attenuation in the pass band

3.4.2.5.2

nominal insertion attenuation

insertion attenuation at a specified reference frequency

3.4.2.5.3

maximum insertion attenuation

maximum value of insertion attenuation in the pass band

3.4.2.6

relative attenuation

difference between the attenuation at a given frequency and the attenuation at the reference frequency

3.4.2.7

return attenuation

RA

value of the reciprocal of modulus of the reflection coefficient, expressed in decibels. Quantitatively, it is equal to L_r , where Z_1 is the impedance toward the source and Z_2 is the impedance toward the load, and the vertical bars indicate magnitude. It is the ratio of the reflected power to the incident power. Γ is a reflection coefficient.

$$L_r = 20 \log \left| \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2} \right| [\text{dB}] \quad (7)$$

$$RA = 20 \log(\Gamma) [\text{dB}] \quad (8)$$

[IEC/TS 61994-2: 2000, 3.47 modified]

3.4.2.8

isolation

ratio of original signal power versus unwanted signal power when T_x signals go through the antenna and the unwanted T_x signals come out from R_x port. Isolation usually concentrates between T_x and R_x ports

3.4.2.9

ripple (pass-band ripple)

difference between the maximum and minimum attenuation within a pass band

3.4.2.10

pass-band attenuation deviation

maximum variation of the attenuation within a defined portion of the pass band of a filter

3.4.2.11

nominal frequency

frequency given by the manufacturer or the specification to identify the filter and duplexer

3.4.2.12**center frequency**

frequency of the middle in the pass band or arithmetic mean of the cut-off frequencies

3.4.2.13**cut-off frequency**

frequency of the pass band at which the relative attenuation reaches a specified value

3.4.2.14**pass band**

band of frequencies in which the relative attenuation is equal to or less than a specified value

3.4.2.15**pass bandwidth**

separation of frequencies between which the attenuation of a piezoelectric filter shall be equal to, or less than, a specified value

3.4.2.16**stop band**

band of frequencies in which the relative attenuation is equal to or greater than a specified value

3.4.2.17**stop bandwidth**

separation of frequencies between which the relative attenuation is equal to or greater than a specified value

3.4.2.18**fractional or relative bandwidth**

ratio of the pass bandwidth to the mid-band frequency in the case of band-pass filter or ratio of the stop bandwidth to the mid-band frequency in the case of band-stop filter

[IEC/TS 61994-2: 2000, 3.13 modified]

3.4.2.19**selectivity**

difference between the attenuation at the given frequency outside the pass-band and the reference value at a given reference frequency

3.4.2.20**standing wave**

formed wave when an electromagnetic wave is transmitted into one end of a transmission line and is reflected from the other end by an impedance mismatch

3.4.2.21**standing wave ratio**

ratio of the amplitude of a standing wave at an anti-node (maximum) to the amplitude at an adjacent node (minimum) or ratio of the electrical field strength at a voltage maximum on a transmission line to the electrical field strength of an adjacent voltage minimum

3.4.2.22**impedance**

total passive opposition offered to the flow of electric current. It is determined by the particular combination of resistance, inductive reactance, and capacitive reactance in a given circuit. It is represented by the letter "Z" and measured in ohms

3.4.2.23**input impedance**

impedance at the input terminal of the filter device when it is properly terminated at its output

3.4.2.24**output impedance (or load impedance)**

impedance presented by the filter to the load when the input is terminated by a specified source impedance

3.4.2.25**characteristic impedance**

ratio of the complex voltage applied to the input of an infinitely long transmission line to the complex current that would flow in that line

3.4.2.26**RF power handling capability**

capability of the filter or duplexer to transmit a given amount of power through the device

3.4.2.27**envelop delay time**

time of propagation of a certain characteristic of a signal envelope between two points for a certain frequency

3.4.2.28**operating temperature range**

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

3.4.3 Temperature characteristics**3.4.3.1****temperature characteristics of mid-band frequency**

maximum reversible variation of mid-band frequency produced over a given temperature range within the category temperature range. It is expressed normally as a percentage of the mid-band frequency related to a reference temperature of 25 °C

3.4.3.2**temperature coefficient of mid-band frequency****TCF**

rate of change of mid-band frequency with the temperature measured over a specified range of temperature. It is normally expressed in parts per million per degree Celsius ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

4 Essential ratings and characteristic parameters**4.1 Resonator, filter and duplexer marking**

Bulk acoustic wave resonators, filters and duplexers shall be clearly and durably marked in the order given below:

- a) year and week (or month) of manufacture;
- b) manufacture's name or trade mark;
- c) terminal identification (optional);
- d) serial number;
- e) factory identification code (optional).

4.2 Additional information

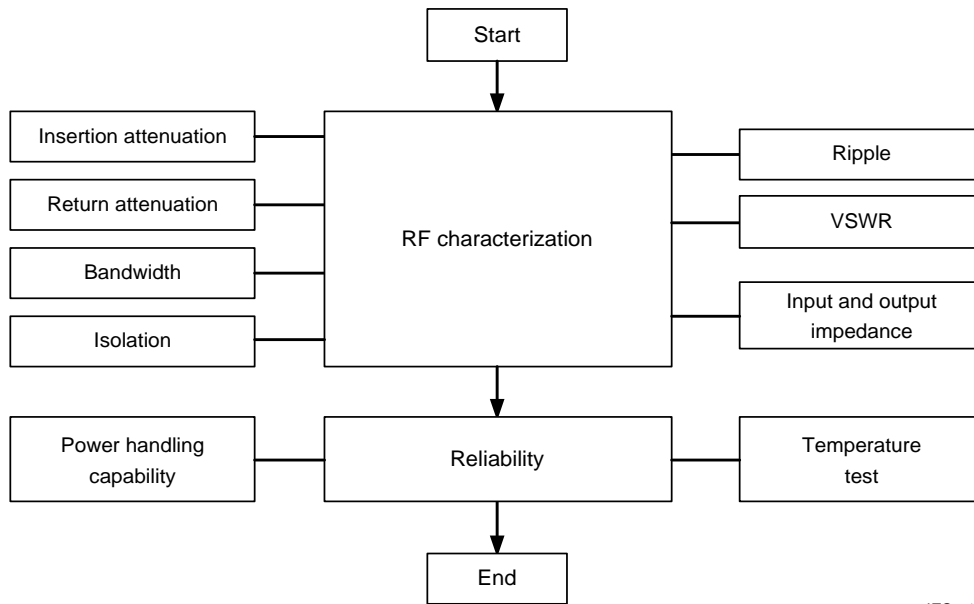
Some additional information should be given such as equivalent input and output circuits (eg. input/output impedance, characteristic impedance, etc.), handling precautions, physical information (eg. outline dimensions, terminals, accessories, etc.), package information, PCB interface and mounting information, and other information, etc.

5 Test methods

5.1 Test procedure

Basically, test procedures for d.c. characteristics and RF characteristics of BAW filters and duplexers are performed as shown in Figure 6 and Figure 7. The packaged BAW filters and duplexers are mounted on a test fixture and measured by using a network analyzer. Since the impedance of the network analyzer is usually $50\ \Omega$ the termination condition between the filter and the equipment should be considered carefully.

Before connecting the filter or duplexer test fixture, the network analyzer, cable, and connectors should be calibrated. The full 2-port calibration technique is effective to compensate the system errors (i.e. presenting open-circuit impedance, short-circuit impedance, through standards at the ends of test cable connectors, $50\ \Omega$ load impedance, and storing the measured values for correction of resonator, filter, and duplexer measurement). After calibration, connect the test cable with the filter test fixture with $50\ \Omega$ connectors. The reading of s -parameter on the display of the network analyzer is taken. A reflection coefficient, S_{11} and a transmission coefficient, S_{21} of two-port S parameters are translated into reflection attenuation and insertion attenuation, respectively. If a different frequency range is required, the entire calibration sequence has to be repeated.



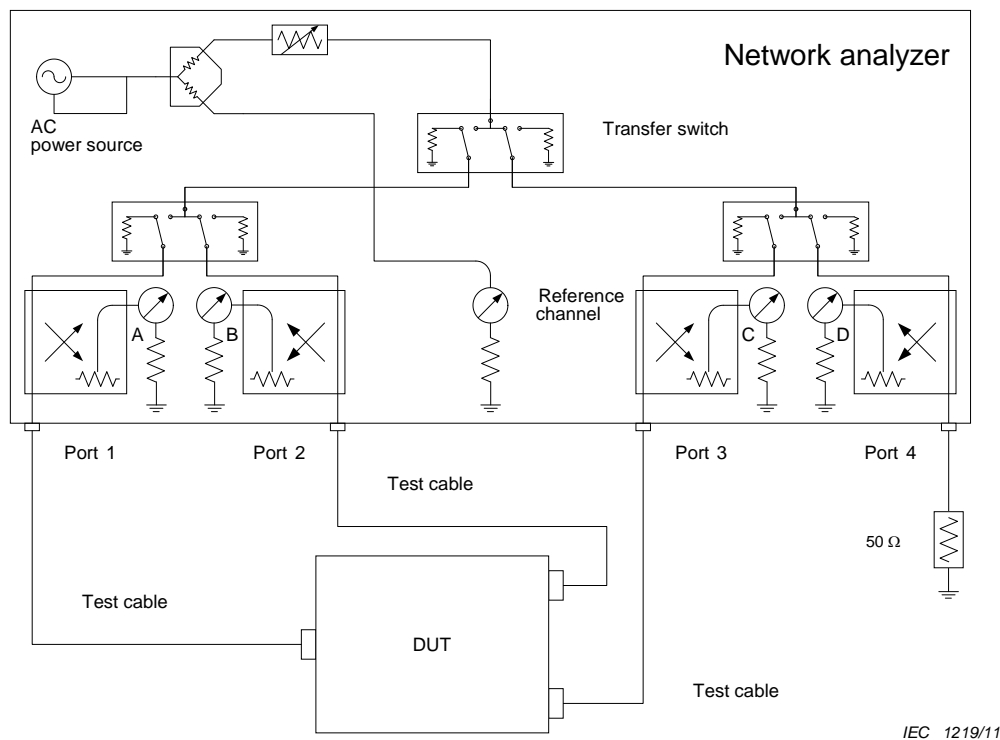
IEC 1218/11

Key

Name of procedure	Reference subclause	Name of procedure	Reference subclause
Start		Temperature test	5.3.1.2
RF characterization		Insertion attenuation	3.4.2.5 and 5.2.1
Reliability		Return attenuation	3.4.2.7 and 5.2.2
End		Bandwidth	3.4.2.15 and 5.2.3
Ripple	3.4.2.9 and 5.2.5	Isolation	3.4.2.8 and 5.2.4
VSWR	5.2.6 Voltage standing wave ratio	Power handling capability	5.3.1.1
Input and output impedance	3.4.3.2.3 and 3.4.2.2.4		

NOTE BAW filters and duplexers can be measured as shown in Figure 7. After mounting the BAW devices onto a test fixture, RF characteristics are measured by using a network analyzer or an equivalent equipment. If the measurements are satisfactory, reliability test (temperature (thermal cycling), shock, RF power handling, etc.) is performed for commercial use.

Figure 6 – Measurement procedure of BAW filters and duplexers



Key

Components and meters to monitor		Equipments and supplies	
DUT: device under test	A piece of BAW resonator or BAW filter or BAW duplexer	AC power source:	To supply a specified level of electric power to a type of transfer switch
A (channel):	To detect port 1 reflected from the input of a piece of DUT	Transfer switch:	To transfer a specified input power by switching toward port 1 or port 2
B (channel):	To detect port 2 reflected from the input of a piece of DUT	Test cable:	
C (channel):	To detect port 3 reflected from the input of a piece of DUT	Network analyzer:	To measure S-parameters through a piece of DUT
D (channel):	To detect port 4 power transmitted through the DUT		
Reference channel (meter):	To detect supplying electric power in watts to keep a specified level		

NOTE Other filter test equipments can also be used instead of the network analyzer. In case of BAW duplexers, unused port should be terminated with 50 Ω or 75 Ω during the measurement.

Figure 7 – Electrical measurement setup of BAW resonators, filters and duplexers

5.2 RF characteristics

5.2.1 Insertion attenuation, IA

When the incident power is applied to input port of the band-pass filter or duplexer, it is a measured ratio between the transmitted power to the output port and the incident power. The insertion attenuation of the band-pass filter is obtained from the measured S-parameter - S_{21} . The insertion attenuations of the duplexer are obtained from the measured S-parameter - S_{13} (Tx-Ant) and S_{32} (Ant-Rx). The insertion attenuation is normally expressed in decibels (dB) and obtained by the following equation.

$$IA = -20\log(|S_{21}|) = 20\log(|\Gamma|) \text{ [dB]} \tag{9}$$

The measured insertion attenuation of the band-pass filter or duplexer should be lower than required minimum insertion attenuation given by users at the frequency band of applications. Figure 8 shows the graphical shape of the measured insertion attenuation.

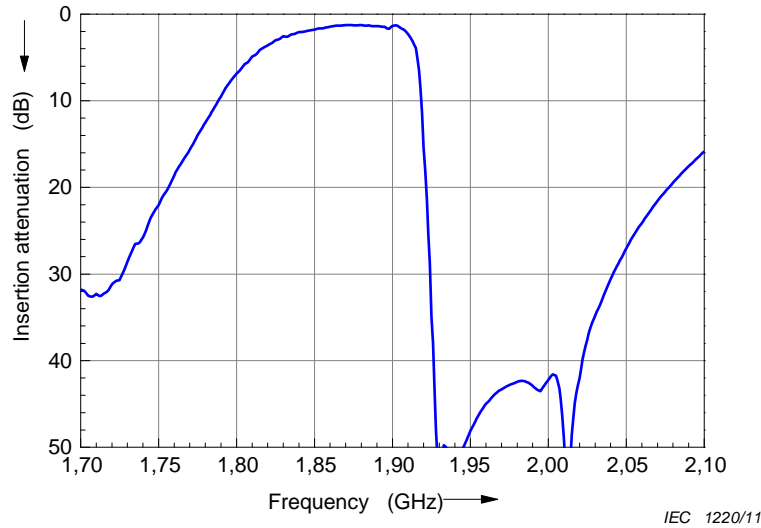


Figure 8 – Insertion attenuation of BAW filter

5.2.2 Return attenuation, RA

It is the measured ratio, normally expressed in dB, of the reflected power to the incident power. It is obtained from the measured S-parameter, S_{11} in the band-pass filter.

$$RA = -20\log|S_{11}| = 20\log|\Gamma| \text{ [dB]} \tag{10}$$

In the case of the duplexer, return attenuations are obtained from the measured S-parameters, S_{11} (for Tx band) and S_{22} (for Rx band). Figure 9 shows the graphical shape of the measured return attenuation. The return attenuation is normally expressed in decibels (dB)

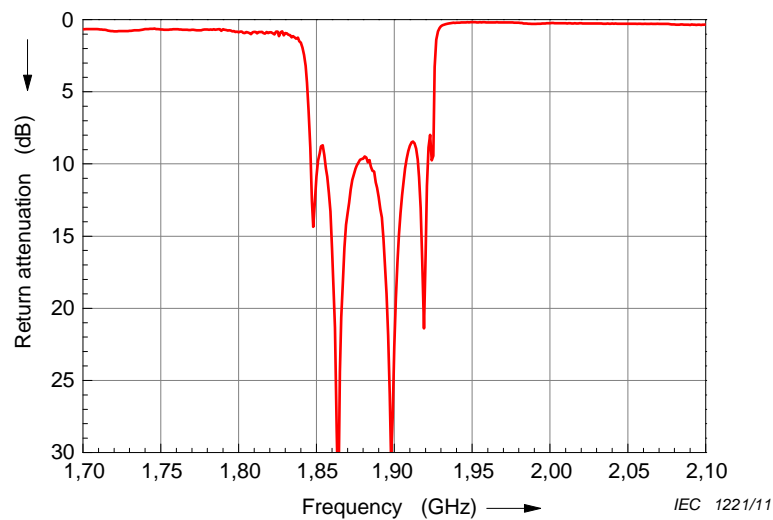


Figure 9 – Return attenuation of BAW filter

5.2.3 Bandwidth

It is the working frequency range of the band-pass filter or duplexer having good RF characteristics enough to be used in subsystems and system applications. It is the measured range, normally expressed in Hz, of the separation between the lower and the upper relative to the specified value of the frequency response curve.

$$BW = f_{\text{upper}(\text{specified})} - f_{\text{lower}(\text{specified})} \text{ Hz} \quad (11)$$

It is obtained from the measured S-parameters – S_{21} (band-pass filter), S_{31} (*Tx*-Ant for duplexer) and S_{32} (Ant-*Rx* for duplexer). The upper and lower frequencies are selected when the relative attenuation reaches a specified value.

5.2.4 Isolation

RF energy may leak from one conductor to another by radiation, ionization, capacitive coupling, or inductive coupling. In case of duplexer, isolation is the measurement of the power level between a transmitting, *Tx* and a receiving, *Rx* ports after terminating an antenna port as 50Ω . Isolation is normally specified in dB below the Input power level.

$$Isolation = -20 \log |S_{21}| \text{ [dB]} \quad (12)$$

The measured isolation of BAW duplexer should be higher than the required isolation given by users. Figure 10 shows the graphical shape of the measured isolation characteristics.

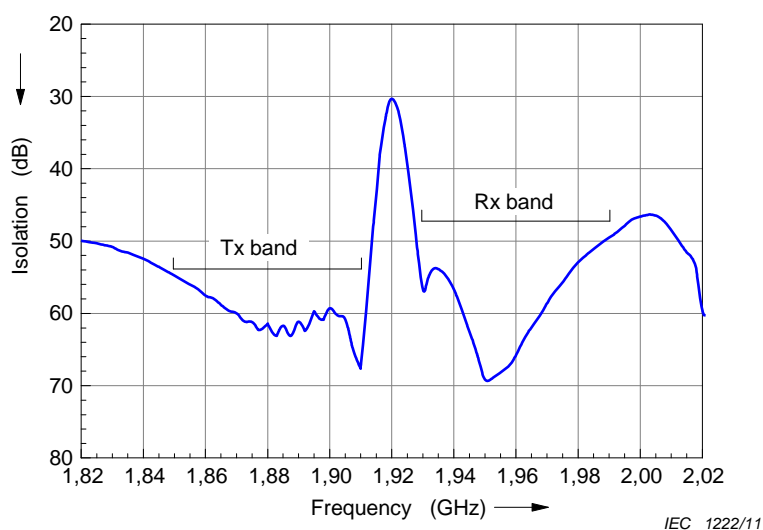


Figure 10 – Isolation (Tx-Rx) of BAW duplexer

5.2.5 Ripple

In-band ripple is defined as the fluctuation of the insertion attenuation within the pass band. Figure 11 shows the graphical shape of the measured ripple characteristics.

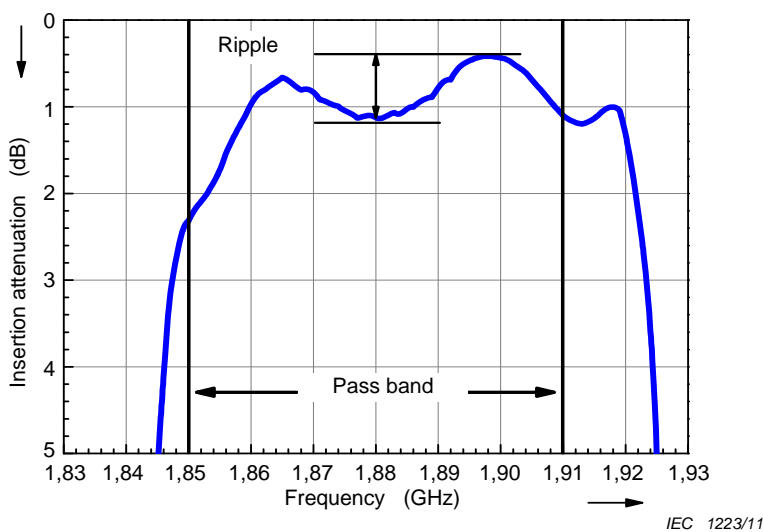


Figure 11 – Ripple of BAW filter

5.2.6 Voltage standing wave ratio (VSWR)

It is the measured ratio of the electrical field strength at a voltage maximum on a transmission line to the electrical field strength of an adjacent voltage minimum. It is a measure of mismatch of a line.

$$VSWR = \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right) = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|}, \Gamma \text{ is a reflection coefficient.} \tag{13}$$

In above Equation (13), the reflection coefficient Γ is derived from following equation:

$$|\Gamma| = 10^{-\frac{RA}{20}} \quad (14)$$

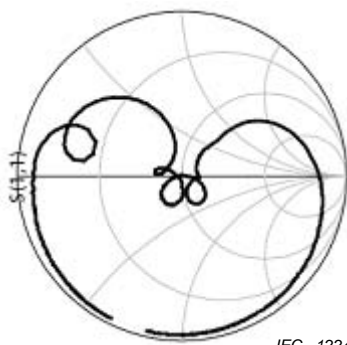
where

RA is the return attenuation.

The return attenuation is obtained using the measured s -parameters described in 5.2.2.

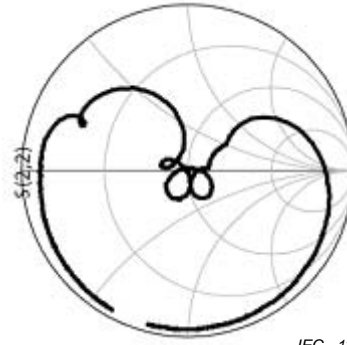
5.2.7 Impedances of input and output

It is the connection of additional impedance to an existing one in order to accomplish a specific effect, such as to balance a circuit or to reduce reflection in the BAW devices. Generally, load impedance is fixed to 50Ω . So, characteristic impedance should be matched to 50Ω for the high effective RF transmission. The impedance for the band-pass filter is obtained from the measured Smith-chart - S_{11} . The impedance for the duplexer is obtained from the measured Smith chart - S_{11} and S_{22} . Smith chart center is 50Ω point.



IEC 1224/11

12a) Input impedance



IEC 1225/11

12b) Output impedance

Figure 12 – Smith chart plot of input and output impedances of BAW filter

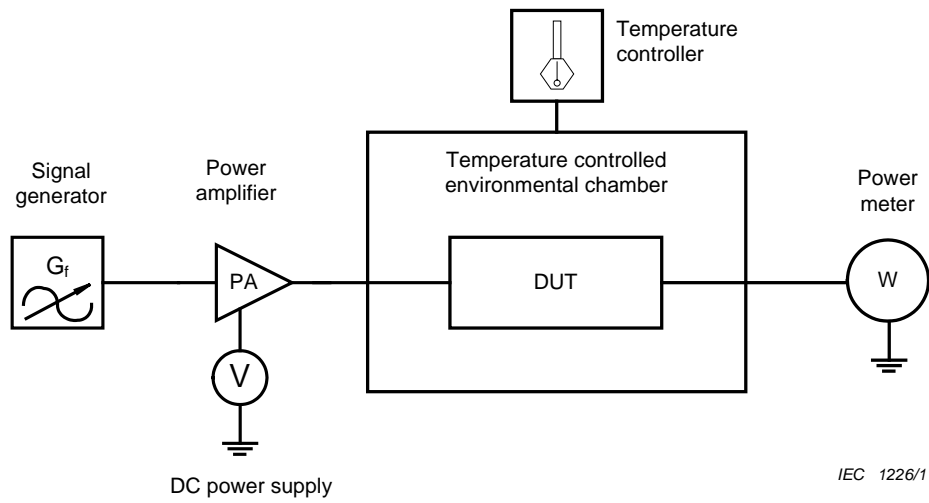
5.3 Reliability test method

5.3.1 Test procedure

To test a life time of BAW band-pass filters or duplexers, the devices must be repeatedly operated until failure. The simplest method for monitoring the device operation is to apply a continuous wave signal to the devices and measure the modulated RF signal that results from the devices. Figure 13 shows a test setup of the reliability of BAW devices.

To test the reliability, the following test procedure is performed:

- The signal from the signal generator is amplified as specified power level through the power amplifier (PA).
- The amplified signal is applied to the input port of the band-pass filter or duplexer.
- The output signal passing through the band-pass filter or duplexer is measured by the power meter.
- The test is performed over again for a few months.



Key

Components and meters to monitor		Equipments and supplies	
DUT: device under test	A piece of BAW resonator or BAW filter	G _f : signal generator	To supply a specified signal to a type of power amplifier
V:	Volt meter	PA: power amplifier	To apply amplified signal to the input port of a piece of DUT
W: power meter	To monitor output power (watt) value of a piece of testing device	Temperature controller:	To set up a specified temperature value of a temperature controlled environmental chamber
		DC power supply:	To apply a specified DC voltage to a type of power amplifier
		Temperature controlled environmental chamber:	To keep a specified temperature value of a piece of testing device

Figure 13 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of BAW resonators and filters

5.3.1.1 Power handling capability

It is the measured maximum RF power which can be transferred from the input to output ports when the band-pass filter or duplexer is being operated.

5.3.1.2 Temperature test

Objective of this test is to evaluate its reliability by low/high temperature cycling test. The temperature range should be specified from the applications. First, the test is performed at the temperature cycling test chamber, and second, by placing the finished duplexer in an oven. The performance characteristics are monitored by a network analyzer.

Annex A (informative)

Geometries of BAW resonators

A.1 Back side etched type

Back side wet etched resonator is fabricated by anisotropically etching the back side of substrate in use of wet chemical solutions such as KOH, NaOH, and TMAH. This procedure makes a membrane to support the resonator device. Recently, silicon dry etching process is also used.

A.2 Air-gap type

Air-gaped resonator is fabricated by removing the sacrificial layer formed on top of the substrate through the etch holes. When wet chemicals are used to etch the sacrificial layer, the stiction problem is commonly occurred. Thus, dry etching techniques are widely used. Since the size of the air-gaped resonator is much smaller than that of back side etched resonator, it is widely used for making the filters and duplexers.

A.3 SMR type

SMR resonator is fabricated by forming a Bragg reflector on top of substrate which is comprised of several layers of different materials with high and low acoustic impedances. It plays a role to trap energy. The layer thickness of bragg reflector must be exactly controlled, but it is not easy to control the thicknesses of a set of quarter-wave layers.

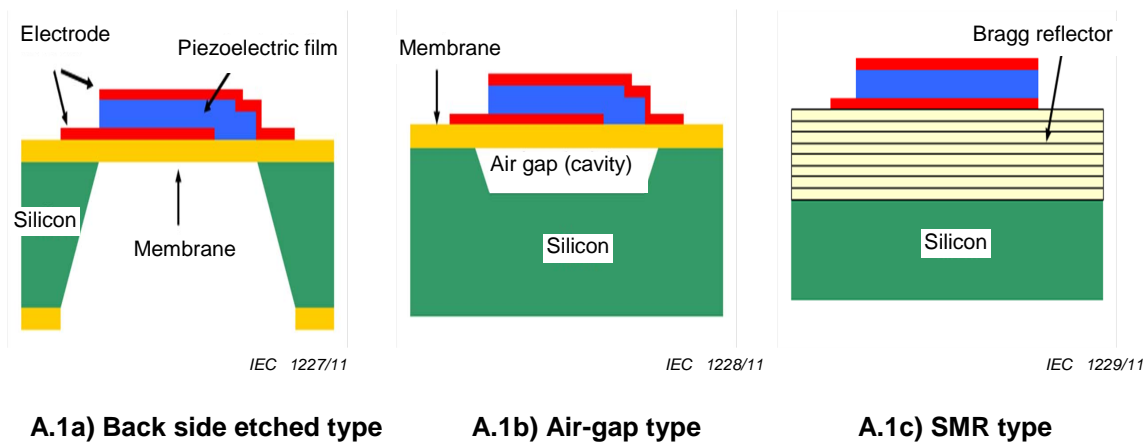


Figure A.1 – Geometry comparison of BAW resonators

Annex B (informative)

Operation of BAW resonators

B.1 Operating principle of BAW resonators

When electrical energy is converted to mechanical energy in BAW resonator with a acoustic wave propagation in a parallel plate, the energy is directed into the body of the device. The primary sound energy is a longitudinal.

The resonant frequency is almost determined by the thickness of the piezoelectric film. It is determined by the following equation, $f_{\text{res}} = (2n+1)v/2d$, where v is an acoustic wave velocity at the resonant frequency (f_{res}), n is integer, and d is thickness of the piezoelectric film.

B.2 Resonance principle

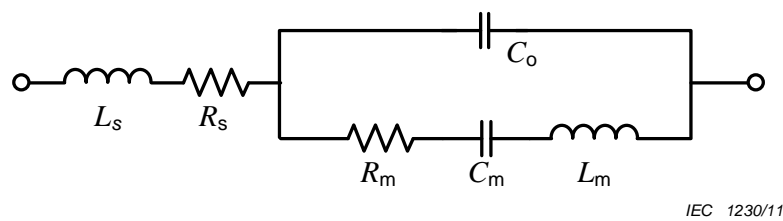
Piezoelectric material of the BAW resonator converts RF electrical energy into mechanical energy (related to acoustic wave) and vice versa. So, the piezoelectricity of ZnO or AlN, the degree of being changeable from RF electrical signal (wave) into acoustic wave, induces the resonance and selection property of a wanted frequency.

Let us consider the BAW resonator where a piezoelectric thin film sandwiched by two parallel electrodes. A resonance condition occurs if the thickness of piezoelectric thin film (d) is equal to an odd multiple of a half of the wavelength (λ_{res}). The fundamental resonant frequency ($f_{\text{res}} = 1/\lambda_{\text{res}}$) is then inversely proportional to the thickness of the piezoelectric film, and is equal to $v_a/2d$ where v_a is an acoustic wave velocity at the resonant frequency (f_{res}).

As alternating voltage is applied across the piezoelectric layer, acoustic motion will be induced by the mechanical force generated through the piezoelectricity. On the other hand, electric charges will be induced to the electrodes by electric fields associated with propagating acoustic waves. These relations can be reduced to an electromechanical equivalent circuit shown in Figure 5. Thus, the resonant frequencies can be calculated by using these equivalent circuit parameters.

Series resonance	$f_s = (1/2\pi)(L_m C_m)^{-1/2}$	Parallel resonance	$f_p = (1/2\pi)(L_m C_m)^{-1/2}(1 + C_m/C_o)^{-1/2}$
---------------------	----------------------------------	-----------------------	------------------------------------------------------

The series resonance called as the resonance is occurred where an electrical impedance between two electrodes takes a minimum. On the other hand, the parallel resonance called as anti-resonance is occurred slightly above the resonance where an electrical impedance takes a maximum.

**Key**

L_s	series inductance	R_s	series resistance
R_m	motional resistance	C_m	motional capacitance
L_m	motional inductance	C_0	shunt capacitance

Figure B.1 – Modified BVD (Butterworth-Van Dyke) equivalent circuit model

The BVD model of the BAW resonator shown in Figure 5 is often modified for practical applications, as shown in Figure B.1. Series resistance R_s and inductance of L_s represent the interconnecting electrodes and shunt resistance R_0 expresses variation of energy dissipation with frequency.

Bibliography

IEC 60368-1:2000, *Piezoelectric filters of assessed quality – Part 1: Generic specification*
Amendment 1:2004

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

IEC 60368-2-2, *Piezoelectric filters – Part 2: Guide to the use of piezoelectric filters – Section 2: Piezoelectric ceramic filters*

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

IEC 60862-2, *Surface acoustic wave (SAW) filters of assessed quality – Part 2: Guidance on use*

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

IEC/TS 61994-2:2000, *Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection – Glossary – Part 2: Piezoelectric and dielectric filters*

IEC 61261-1, *Piezoelectric ceramic filters for use in electronic equipment – A specification in the IEC quality assessment system for electronic components (IECQ) – Part 1: Generic specification – Qualification approval*

IEC 61261-2, *Piezoelectric ceramic filters for use in electronic equipment – A specification in the IEC quality assessment system for electronic components (IECQ) – Part 2: Sectional specification – Qualification approval*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	32
1 Domaine d'application	34
2 Références normatives.....	34
3 Termes et définitions	34
3.1 Termes généraux	34
3.2 En relation avec le filtre BAW	36
3.3 En relation avec le duplexeur BAW.....	37
3.4 Paramètres caractéristiques	38
3.4.1 Résonateur BAW	38
3.4.2 Filtre et duplexeur BAW.....	41
3.4.3 Caractéristiques de températures	44
4 Valeurs assignées et paramètres caractéristiques essentiels.....	45
4.1 Marquage de résonateurs, de filtres et de duplexeurs	45
4.2 Informations complémentaires.....	45
5 Méthodes d'essai	45
5.1 Procédure d'essai	45
5.2 Caractéristiques RF.....	47
5.2.1 Affaiblissement d'insertion, IA.....	47
5.2.2 Affaiblissement d'écho, RA.....	48
5.2.3 Largeur de bande	49
5.2.4 Isolement	49
5.2.5 Ondulation.....	50
5.2.6 Rapport d'onde stationnaire en tension (VSWR : <i>Voltage standing wave ratio</i>)	50
5.2.7 Impédances de sortie et d'entrée.....	51
5.3 Méthode d'essai de fiabilité	51
5.3.1 Procédure d'essai.....	51
Annexe A (informative) Géométries des résonateurs BAW.....	53
Annexe B (informative) Fonctionnement des résonateurs BAW	54
Bibliographie.....	56
Figure 1 – Structure fondamentale du résonateur BAW.....	35
Figure 2 – Topologies pour conception de filtres BAW	36
Figure 3 – Réponses en fréquences des filtres BAW de type en échelle et en treillis	36
Figure 4 – Exemple de configuration d'un duplexeur BAW	37
Figure 5 – Circuit équivalent du résonateur BAW (résonateur à une porte)	38
Figure 6 – Procédure de mesure des filtres et des duplexeurs BAW	46
Figure 7 – Montage de mesure électrique des résonateurs, filtres et duplexeurs BAW	47
Figure 8 – Affaiblissement d'insertion du filtre BAW	48
Figure 9 – Affaiblissement d'écho du filtre BAW.....	49
Figure 10 – Isolement (Tx-Rx) du duplexeur BAW	50
Figure 11 – Ondulation du filtre BAW	50
Figure 12 – Tracé de l'abaque de Smith des impédances d'entrée et de sortie du filtre BAW	51

Figure 13 – Schéma fonctionnel d'un montage d'essai en vue de l'évaluation de la fiabilité des résonateurs et des filtres BAW	52
Figure A.1 – Comparaison de géométrie entre les résonateurs BAW.....	53
Figure B.1 – Modèle de circuit équivalent au BVD modifié (Butterworth-Van Dyke)	55

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 7: Filtre et duplexeur BAW MEMS pour la commande et le choix des fréquences radioélectriques

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 62047-7 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes micro-électromécaniques, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/79/FDIS	47F/87/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.

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.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 7: Filtre et duplexeur BAW MEMS pour la commande et le choix des fréquences radioélectriques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62047 définit les termes, les définitions, les symboles, les configurations, et les méthodes d'essai susceptibles d'être utilisés pour évaluer et déterminer les caractéristiques d'aptitude à la fonction des dispositifs de résonateurs, filtres et duplexeurs BAW en tant que dispositifs de commande et de choix des fréquences radioélectriques. La présente norme spécifie les méthodes d'essai et les exigences générales relatives aux dispositifs de résonateur, de filtre et de duplexeur BAW sous assurance de la qualité, au moyen des procédures d'agrément de savoir-faire ou d'homologation.

2 Références normatives

Vacant.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions suivants, s'appliquent.

3.1 Termes généraux

3.1.1

onde acoustique de volume

BAW (*Bulk acoustic wave*)

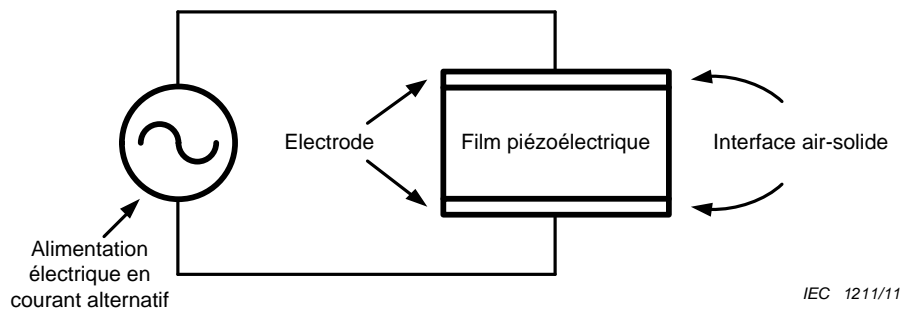
onde acoustique, se propageant au corps de volume

3.1.2

résonateur BAW

résonateur utilisant une onde acoustique de volume

NOTE Le résonateur BAW est constitué de matériau piézoélectrique entre les électrodes supérieure et inférieure, comme représenté à la Figure 1. Les électrodes supérieure et inférieure étant susceptibles de vibrer dans un sens vertical du film piézoélectrique déposé. Les électrodes correspondent soit à deux interfaces air-solide soit à un réflecteur acoustique de Bragg et une interface air-solide. La première est souvent désignée par résonateur acoustique de volume à film (FBAR, *film bulk acoustic resonator*), et la seconde est désignée par résonateur à montage solide (SMR, *solidly-mounted resonator*).



Légende

Couches d'une pièce d'un résonateur BAW

Electrode	Pour fournir l'entrée électrique à un corps constitué de film piézo-électrique et des connexions électriques avec un circuit externe
Film piézoélectrique	Couche de corps d'un type de résonateur BAW
Interface air-solide	

Composants pour faire fonctionner un résonateur BAW

Alimentation électrique à courant alternatif	Alimentation électrique pour faire vibrer un résonateur BAW
----------------------------------------------	-------------------------------------------------------------

Figure 1 – Structure fondamentale du résonateur BAW

3.1.3 électrode

plaque ou film électriquement conducteur à proximité de, ou en contact avec une face du film piézoélectrique permettant d'appliquer un champ de polarisation ou d'entraînement à l'élément

[CEI/TS 61994-1, 3.21]

3.1.4 film piézoélectrique

film qui est doté de piézoélectricité

NOTE Parmi les films piézoélectriques, on peut distinguer ceux en matériaux non ferroélectriques de ceux en matériaux ferroélectriques. Les matériaux non ferroélectriques, tels que le AlN (nitrure d'aluminium) et le ZnO (oxyde de zinc) comportent une constante diélectrique faible, une perte diélectrique faible, une dureté suffisante, et d'excellentes propriétés isolantes. De ce fait, ils sont bien adaptés pour les résonateurs hyperfréquences et les applications de filtres. Les matériaux ferroélectriques, tels que PZT (plomb-zirconium-titane) et PLZT (plomb-lanthanum-zirconium-) comportent une constante diélectrique élevée, une perte diélectrique importante, et des propriétés isolantes assez bonnes. De ce fait, ils sont bien adaptés pour les applications de mémoire et d'actionneur.

3.1.5 effet piézoélectrique direct

effet occasionné par une déformation mécanique de matériau piézoélectrique qui produit une modification proportionnelle dans la polarisation électrique de ce matériau

3.1.6 effet piézoélectrique contraire (ou inverse)

effet occasionné par une contrainte mécanique proportionnelle à un champ électrique externe en action, qui est induite dans le matériau piézoélectrique

NOTE L'effet piézoélectrique contraire est largement utilisé pour les résonateurs et filtres à ondes acoustiques, les capteurs résonnants, les oscillateurs, les générateurs d'ondes ultrasonores, et les actionneurs. L'effet piézoélectrique direct est habituellement appliqué à divers capteurs piézoélectriques et générateurs de tension.

3.2 En relation avec le filtre BAW

La Figure 2 montre les topologies pour la conception de filtres BAW.

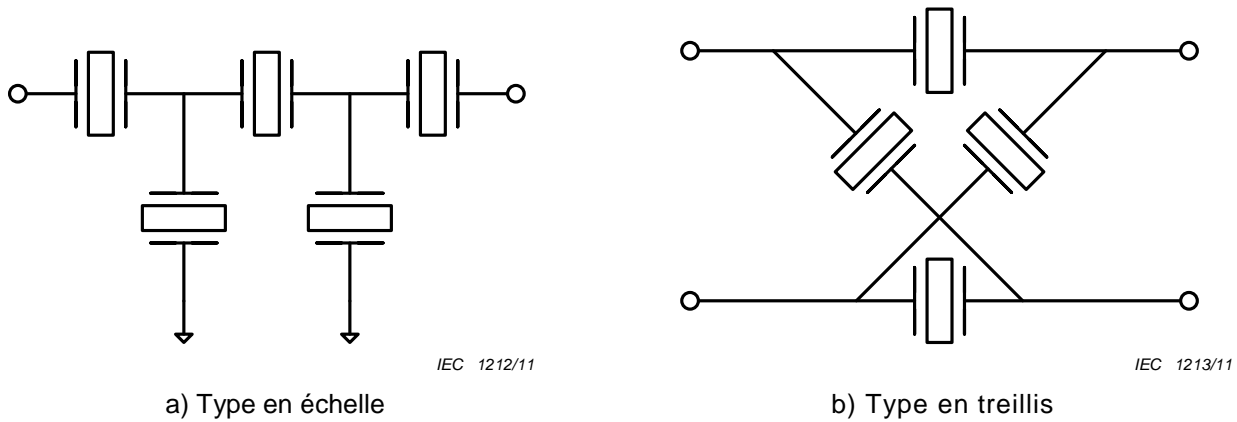


Figure 2 – Topologies pour conception de filtres BAW

NOTE Les résonateurs BAW sont connectés en série et en parallèle pour former des filtres électriques, comme représentés à la Figure 2. Il convient que les fréquences résonnantes des résonateurs séries et parallèles soient différentes pour fixer la largeur de bande du filtre BAW.

3.2.1 filtre en échelle

filtre comportant une connexion en cascade ou en tandem de résonateurs BAW shunt et série alternatifs

NOTE Il convient que le résonateur BAW connecté en série comporte une fréquence de résonance légèrement supérieure à celle d'un résonateur BAW parallèle. Il est nécessaire que la fréquence de résonance parallèle du résonateur BAW parallèle soit égale à la fréquence de résonance série du résonateur BAW série dans la géométrie du filtre, comme l'illustre la Figure 2. Elle donne une décroissance raide, mais des caractéristiques de rejet de bande d'arrêt médiocres, comme le montre la Figure 3a). De ce fait, des inductances auxiliaires sont habituellement accordées pour améliorer l'isolement, et, en général, une réjection hors-bande loin de la bande passante devient pire.

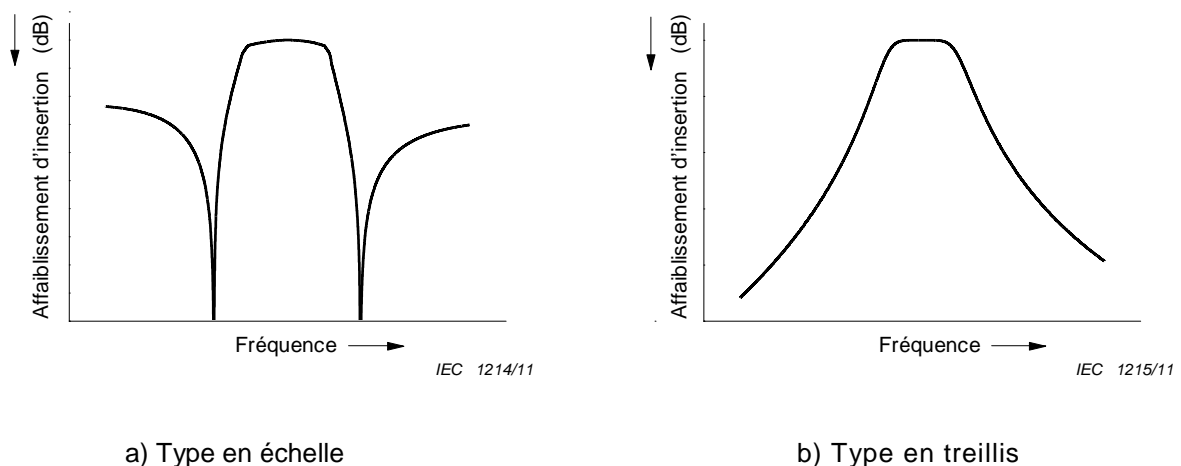


Figure 3 – Réponses en fréquences des filtres BAW de type en échelle et en treillis

3.2.2 filtre en treillis

filtre comportant deux paires de résonateurs couplés électriquement dans un réseau en pont, dont une paire de résonateurs en une branche série et l'autre paire en une branche shunt

[CEI 60862-1:2003, 2.2.3.8 modifiée]

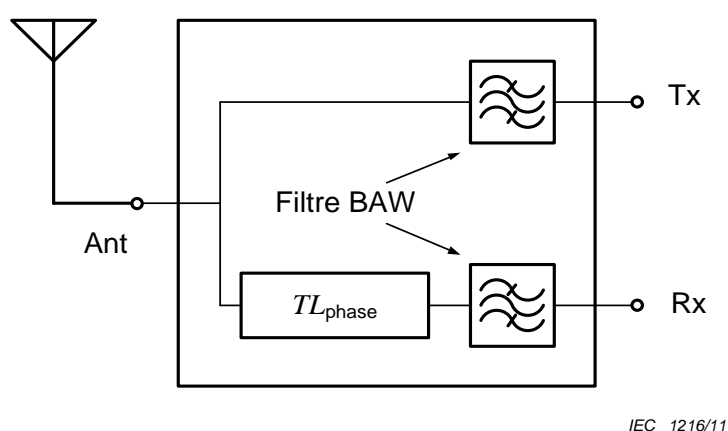
NOTE Le filtre de type en treillis nécessite davantage de résonateurs que celui de type en échelle, étant donné qu'il a besoin de deux résonateurs pour synthétiser un zéro de pôle et un zéro de transmission de la fonction de transfert. La bande passante est obtenue lorsqu'une paire de résonateurs est dotée d'un comportement inductif tandis que l'autre paire de résonateurs est dotée d'un comportement capacitif. Contrairement au filtre de type en échelle, il donne un rejet de bande atténuée profond et une bonne capacité de traitement de la puissance, mais des caractéristiques de décroissance lissée, comme le montre la Figure 3 b).

3.2.3 inductance auxiliaire

inductance connectée avec les résonateurs parallèles du filtre BAW en échelle

3.3 En relation avec le duplexeur BAW

La Figure 4 montre un exemple d'une configuration de duplexeur BAW.



Légende

<i>Tx</i>	antenne d'émission	<i>Rx</i>	antenne de réception
<i>Ant</i>	accès d'antenne	<i>TL_{phase}</i>	ligne à retard de phase

Figure 4 – Exemple de configuration d'un duplexeur BAW

NOTE Deux filtres différents d'onde acoustique de volume (BAW), des filtres passe-bande d'émission et de réception, sont connectés avec un déphaseur en quart d'onde, ou une ligne à retard de phase ou une inductance en parallèle sur un substrat de boîtier pour former un duplexeur, comme le montre la Figure 4. Afin d'améliorer les caractéristiques d'isolation entre ces filtres d'émission et de réception, il convient que les trous de liaison soient bien formés sur le substrat du boîtier. Les inductances série et parallèle sont ajoutées dans les filtres *Tx* et *Rx*, afin d'améliorer son atténuation, sa pente et les caractéristiques d'ondulation.

3.3.1 filtre passe-bande d'émission

Tx

filtre passe-bande utilisé au niveau de l'émetteur du système RF qui transmet un signal à l'antenne

3.3.2 filtre passe-bande de réception

Rx

filtre passe-bande utilisé au niveau du récepteur du système RF qui reçoit un signal de l'antenne

3.3.3 ligne à retard de phase

ligne de transmission destinée à retarder un signal d'un accès vers l'antenne ou isoler l'émetteur et le récepteur

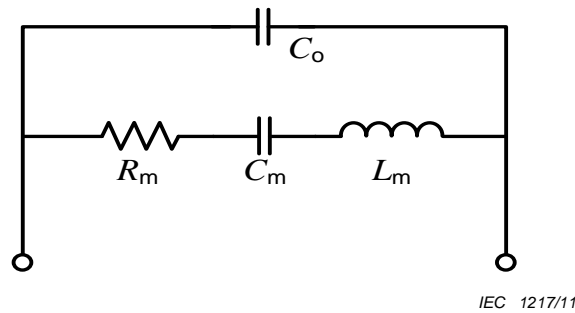
3.4 Paramètres caractéristiques

3.4.1 Résonateur BAW

3.4.1.1 circuit équivalent (de résonateur BAW)

circuit électrique qui comporte la même impédance qu'un résonateur piézoélectrique à proximité immédiate de la résonance

NOTE Par exemple, un résonateur BAW à une porte est constitué d'éléments séries L_m , C_m , R_m en parallèle avec C_o , comme représenté à la Figure 5, où L_m , C_m , R_m représentent respectivement l'inductance, la capacité, et la résistance dynamiques. C_o représente la capacité parallèle. Parfois, une autre résistance R_s est ajoutée en série avec une borne d'entrée pour prendre en compte la résistance d'électrode et d'interconnexion.



Légende

C_o	capacité parallèle	R_m	résistance dynamique
C_m	capacité dynamique	L_m	inductance dynamique

Figure 5 – Circuit équivalent du résonateur BAW (résonateur à une porte)

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.25 modifiée]

3.4.1.2 fréquence nominale

fréquence assignée par la spécification du résonateur

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.58 modifiée]

3.4.1.3 fréquence de résonance (ou fréquence de résonance série)

f_r
fréquence la plus basse des deux fréquences d'un résonateur piézoélectrique vibrant seul, dans des conditions spécifiées, dans lesquelles l'impédance électrique du résonateur est résistive

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.81 modifiée]

3.4.1.4 fréquence d'anti-résonance (fréquence de résonance parallèle, f_p)

f_a
fréquence la plus élevée des deux fréquences d'un résonateur piézoélectrique vibrant seul. Une valeur approximative de cette fréquence est donnée par l'expression suivante

$$f_p = 1 / 2\pi \sqrt{L_m C_m C_o / (C_m + C_o)} \tag{1}$$

où

C_o représente la capacité parallèle; et

L_m et C_m , sont respectivement l'inductance et la capacité dynamiques.

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.3, 3.69 modifiée]

3.4.1.5

fréquence de résonance (série) dynamique

f_s

fréquence de résonance de la branche dynamique ou série du circuit équivalent du résonateur; elle est définie par la formule ci-dessous

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} \quad (2)$$

où

L_m et C_m représentent respectivement l'inductance et la capacité dynamiques.

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.55 modifiée]

3.4.1.6

résonance fondamentale

mode de résonance le plus bas dans une famille de vibrations donnée

3.4.1.7

résonance parasite

état de résonance d'un résonateur autre que celui associé avec la fréquence de fonctionnement

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.86 modifiée]

3.4.1.8

niveau de rejet de la résonance parasite

différence entre le niveau maximal des résonances parasites et l'affaiblissement d'insertion minimal

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.87 modifiée]

3.4.1.9

réponse indésirable

état de résonance d'un résonateur autre que celui associé avec le mode de vibration prévu pour l'application

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.99 modifiée]

3.4.1.10

rapport de capacité

r

rapport de la capacité parallèle C_0 à la capacité dynamique C_m

[CE/TS 61994-1:2007, 3.7 modifiée]

3.4.1.11

capacité dynamique

C_m

capacité de la branche dynamique ou série du circuit équivalent du résonateur

3.4.1.12
inductance dynamique

L_m

inductance de la branche dynamique ou série du circuit équivalent du résonateur

3.4.1.13
résistance dynamique

R_m

résistance de la branche dynamique ou série du circuit équivalent du résonateur

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.52 modifiée]

3.4.1.14
capacité parallèle

C_0

capacité en parallèle avec le bras dynamique du circuit équivalent du résonateur, qui est provoquée par la fuite d'énergie et la perte diélectrique du film piézoélectrique

3.4.1.15
coefficient de qualité

FOM (*Figure of merit*) ou **M**

facteur indiquant l'aptitude à la fonction du dispositif, produit de k_{eff}^2 et Q , qui indique l'activité du résonateur, et la valeur habituellement donnée par Q/r , où Q est le facteur Q et r est le rapport de capacités à basses fréquences

[CEI/TS 61994-1:2007 modifiée]

3.4.1.16
facteur de couplage électromécanique

certaine combinaison de constantes élastique, diélectrique et piézoélectrique apparaissant naturellement dans l'expression d'impédance d'un résonateur. Un facteur différent se produit dans chaque famille particulière de mode de vibration. Le facteur est étroitement lié à l'écart relatif entre fréquences et constitue une mesure commode de la transduction piézoélectrique. En variante, le facteur de couplage peut être interprété comme la racine carrée du rapport du travail électrique ou mécanique qui peut être accompli à l'énergie totale emmagasinée provenant d'une source de puissance mécanique ou électrique pour un ensemble particulier de conditions aux limites

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.22 modifiée]

3.4.1.17
écart relatif entre fréquences

B_s

rapport de la différence entre la fréquence de résonance parallèle f_p et la fréquence de résonance série f_s dans un mode donné de vibrations, à la fréquence de résonance série

$$B_s = (f_p - f_s) / f_p \quad (3)$$

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.80 modifiée]

3.4.1.18
coefficient de couplage électromécanique effectif

k_{eff}^2

Le coefficient de couplage électromécanique effectif relatif aux vibrations longitudinales dans le sens de l'épaisseur est défini comme suit:

$$k_{\text{eff}}^2 = \left(\frac{\pi f_r}{2 f_a} \right) / \left\{ \tan \left(\frac{\pi f_r}{2 f_a} \right) \right\} \quad (4)$$

lorsque le film piézoélectrique est isolé mécaniquement de l'environnement tel que les électrodes

3.4.1.19

coefficient de couplage électromécanique (du matériau piézoélectrique)

K^2

un chiffre indiquant la résistance piézoélectrique du matériau piézoélectrique est défini comme suit:

$$k_{\text{eff}}^2 = \frac{K^2}{(1 + K^2)} \quad (5)$$

NOTE Il dépend non seulement des matériaux, mais également du type d'ondes et de la direction de propagation des ondes, ainsi que de la polarisation.

3.4.1.20

facteur de qualité (pour un circuit de résonance série d'un résonateur BAW)

Q

facteur correspondant à la durée de conservation de l'énergie stockée dans un dispositif est défini comme suit:

$$Q = 2\pi f_r L_m / R_m \quad (6)$$

où

f_r est la fréquence de résonance;

L_m est l'inductance dynamique;

R_m est la résistance dynamique

[CEI/TS 61994-1:2007, 3.77 modifiée]

NOTE La valeur Q d'un résonateur est une mesure des pertes dans le dispositif. Les pertes dissipatives éventuelles sont les résistances ohmiques dans les électrodes, les pertes visco-acoustiques dans tous les matériaux, la diffusion acoustique des surfaces rugueuses ou des défauts de matériaux, et le rayonnement acoustique dans les zones environnantes du dispositif BAW.

3.4.1.21

variation de paramètre à long terme

relation existant entre tout paramètre (par exemple, la fréquence de résonance) et le temps

3.4.2 Filtre et duplexeur BAW

3.4.2.1

facteur de forme

rapport des deux largeurs de bande limitées par deux valeurs d'affaiblissement spécifiées

3.4.2.2

bande de transition

bande des fréquences situées entre la fréquence de coupure et le point le plus proche de la bande atténuée adjacente

3.4.2.3

taux d'affaiblissement

rapport de la bande de transition à la fréquence de coupure idéale, ce qui correspond à un indicateur décrivant les caractéristiques d'accroissement des filtres BAW

3.4.2.4

affaiblissement

diminution d'intensité d'un signal, d'un faisceau, ou d'une onde sous l'effet d'absorption d'énergie et de diffusion hors du chemin vers le détecteur, mais ne comprenant pas la réduction due à l'étalement géométrique

3.4.2.5

affaiblissement d'insertion

IA

rapport logarithmique de la puissance transmise à l'impédance de charge avant et après l'insertion du filtre et du duplexeur

3.4.2.5.1

affaiblissement d'insertion minimal

valeur minimale de l'affaiblissement d'insertion dans la bande passante

3.4.2.5.2

affaiblissement d'insertion nominal

affaiblissement d'insertion à une fréquence de référence spécifiée

3.4.2.5.3

affaiblissement d'insertion maximal

valeur maximale de l'affaiblissement d'insertion dans la bande passante

3.4.2.6

affaiblissement relatif

différence entre l'affaiblissement à une fréquence donnée et l'affaiblissement à la fréquence de référence

3.4.2.7

affaiblissement d'écho

RA (return attenuation)

valeur réciproque du module du coefficient de réflexion, exprimée en décibels. Elle est quantitativement égale à L_r , où Z_1 est l'impédance vers la source and Z_2 est l'impédance vers la charge, et les barres verticales indiquent l'amplitude. Il s'agit du rapport de la puissance réfléchie à la puissance incidente. Γ est un coefficient de réflexion.

$$L_r = 20 \log \left| \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2} \right| [\text{dB}] \quad (7)$$

$$RA = 20 \log(\Gamma) [\text{dB}] \quad (8)$$

[CEI/TS 61994-2:2000, 3.47 modifiée]

3.4.2.8

isolement

rapport de la puissance du signal original par rapport à la puissance du signal indésirable lorsque T_x signaux traversent l'antenne et les T_x signaux indésirables sortent par la porte R_x . L'isolement se concentre habituellement entre les portes T_x et R_x

3.4.2.9

ondulation (ondulation dans la bande passante)

différence entre l'affaiblissement maximal et minimal dans une bande passante

3.4.2.10**écart d'affaiblissement dans la bande passante**

variation maximale de l'affaiblissement dans une portion définie de la bande passante d'un filtre

3.4.2.11**fréquence nominale**

fréquence donnée par le fabricant ou la spécification pour identifier le filtre et le duplexeur

3.4.2.12**fréquence centrale**

fréquence du milieu de la bande passante ou moyenne arithmétique des fréquences de coupure

3.4.2.13**fréquence de coupure**

fréquence de la bande passante pour laquelle l'affaiblissement relatif atteint une valeur spécifiée

3.4.2.14**bande passante**

bande des fréquences pour lesquelles l'affaiblissement relatif est inférieur ou égal à une valeur spécifiée

3.4.2.15**largeur de bande passante**

intervalle des fréquences entre lesquelles l'affaiblissement d'un filtre piézoélectrique doit être égal ou inférieur à une valeur spécifiée

3.4.2.16**bande atténuée**

bande des fréquences pour lesquelles l'affaiblissement relatif est supérieur ou égal à une valeur spécifiée

3.4.2.17**largeur de bande atténuée**

intervalle des fréquences entre lesquelles l'affaiblissement relatif est égal ou supérieur à une valeur spécifiée

3.4.2.18**largeur de bande fractionnée ou relative**

rapport entre la largeur de bande passante et la fréquence centrale pour un filtre passe-bande ou rapport entre la largeur de bande atténuée et la fréquence centrale pour un filtre coupe-bande

[CEI/TS 61994-2:2000, 3.13 modifiée]

3.4.2.19**sélectivité**

différence entre l'affaiblissement à la fréquence donnée hors de la bande passante et la valeur de référence à une fréquence de référence

3.4.2.20**onde stationnaire**

onde formée lorsqu'une onde électromagnétique est transmise dans une extrémité d'une ligne de transmission et est réfléchi par l'autre extrémité par une désadaptation d'impédance

3.4.2.21**rapport d'onde stationnaire**

rapport entre l'amplitude d'une onde stationnaire au niveau d'un ventre (minimum) et l'amplitude au niveau d'un nœud adjacent (maximum) ou rapport entre le champ électrique à un maximum de tension sur une ligne de transmission et le champ électrique d'un minimum de tension adjacente

3.4.2.22**impédance**

opposition passive totale offerte au flux de courant alternatif. Elle est déterminée par la combinaison particulière de la résistance, de la réactance inductive et de la réactance capacitive dans un circuit donné. Elle est représentée par la lettre "Z" et est mesurée en ohms

3.4.2.23**impédance d'entrée**

impédance à la borne d'entrée du dispositif de filtre lorsqu'il est correctement fermé au niveau de sa sortie

3.4.2.24**impédance de sortie (ou impédance de charge)**

impédance présentée par le filtre à la charge lorsque l'entrée est terminée par une impédance de source spécifiée

3.4.2.25**impédance caractéristique**

rapport entre la tension complexe appliquée à l'entrée d'une ligne de transmission infiniment longue et le courant complexe circulant dans cette ligne

3.4.2.26**capacité de traitement de puissance RF**

capacité du filtre ou du duplexeur à transmettre une quantité donnée de puissance à travers le dispositif

3.4.2.27**retard d'enveloppe**

temps de propagation d'une certaine caractéristique d'une enveloppe du signal entre deux points pour une certaine fréquence

3.4.2.28**plage de températures de fonctionnement**

plage de températures mesurées sur l'enveloppe dans laquelle le résonateur ne supporte pas de dommage permanent, bien que ne fonctionnant pas nécessairement dans les tolérances spécifiées

3.4.3 Caractéristiques de températures**3.4.3.1****caractéristiques de température-fréquence centrale**

variation maximale réversible de la fréquence centrale produite dans une plage de températures donnée à l'intérieur de la plage de températures de la catégorie. Elle est habituellement exprimée en pourcentage de la fréquence centrale par rapport à une température de référence de 25 °C

3.4.3.2**coefficient température-fréquence centrale****CTF**

taux de variation de la fréquence centrale avec la température mesurée dans une plage spécifiée de températures. Il est habituellement exprimé en millionièmes par degré Celsius ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

4 Valeurs assignées et paramètres caractéristiques essentiels

4.1 Marquage de résonateurs, de filtres et de duplexeurs

Les résonateurs, les filtres, les duplexeurs à ondes acoustiques de volume doivent comporter des marquages lisibles et durables, dans l'ordre indiqué ci-dessous:

- a) année et semaine (ou mois) de fabrication;
- b) nom du fabricant ou marque commerciale;
- c) identification des bornes (facultatif);
- d) numéro de série;
- e) code d'identification d'usine (facultatif).

4.2 Informations complémentaires

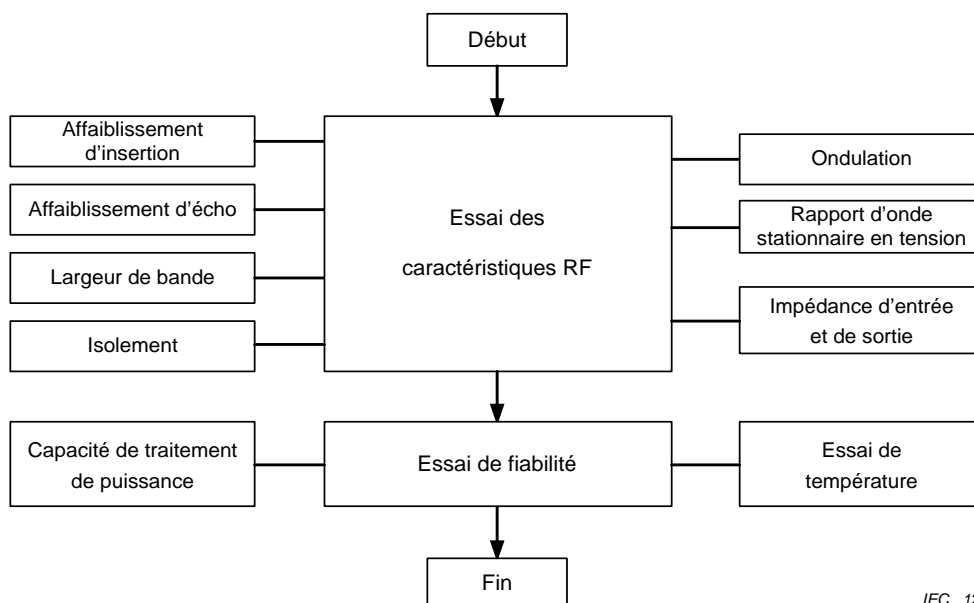
Il convient de fournir des informations supplémentaires telles que sur les circuits d'entrée et de sortie équivalent (par exemple sur l'impédance d'entrée/de sortie, l'impédance caractéristique, etc), les précautions de manipulation, des informations physiques (par exemple les dimensions d'encombrement, les bornes, les accessoires, etc), les informations d'emballage, les informations relatives au montage et à l'interface contenant des BPC et d'autres renseignements, etc

5 Méthodes d'essai

5.1 Procédure d'essai

Fondamentalement, les procédures d'essai liées aux caractéristiques de courant continu et aux caractéristiques RF des filtres et des duplexeurs BAW sont réalisées conformément à la Figure 6 et à la Figure 7. Les filtres et duplexeurs BAW sous emballage sont montés sur un dispositif d'essai et mesurés à l'aide d'un analyseur de réseau. Etant donné que l'impédance de l'analyseur de réseau est habituellement de 50Ω , il convient d'accorder une attention particulière aux conditions d'arrêt entre le filtre et le matériel.

Avant de raccorder le dispositif d'essai du filtre ou du duplexeur, il convient d'étalonner l'analyseur de réseau, le câble et les connecteurs. La technique d'étalonnage complet 2 accès est efficace pour compenser les erreurs systèmes (c'est-à-dire présentant une impédance en circuit ouvert, une impédance en court-circuit, des étalonnages courts aux extrémités des connecteurs de câbles d'essai, une impédance de charge de 50Ω , et en stockant les valeurs mesurées en vue de la correction de la mesure du résonateur, du filtre et du duplexeur). Après l'étalonnage, connecter le câble d'essai au dispositif d'essai du filtre avec des connecteurs de 50Ω . Le relevé du paramètre s est pris sur l'affichage de l'analyseur de réseau. Un coefficient de réflexion, S11 et un coefficient de transmission, S21 de paramètres S deux accès sont traduits en affaiblissement de réflexion et affaiblissement d'insertion, respectivement. Si une plage de fréquence différente est exigée, l'ensemble de la séquence d'étalonnage doit être répété.



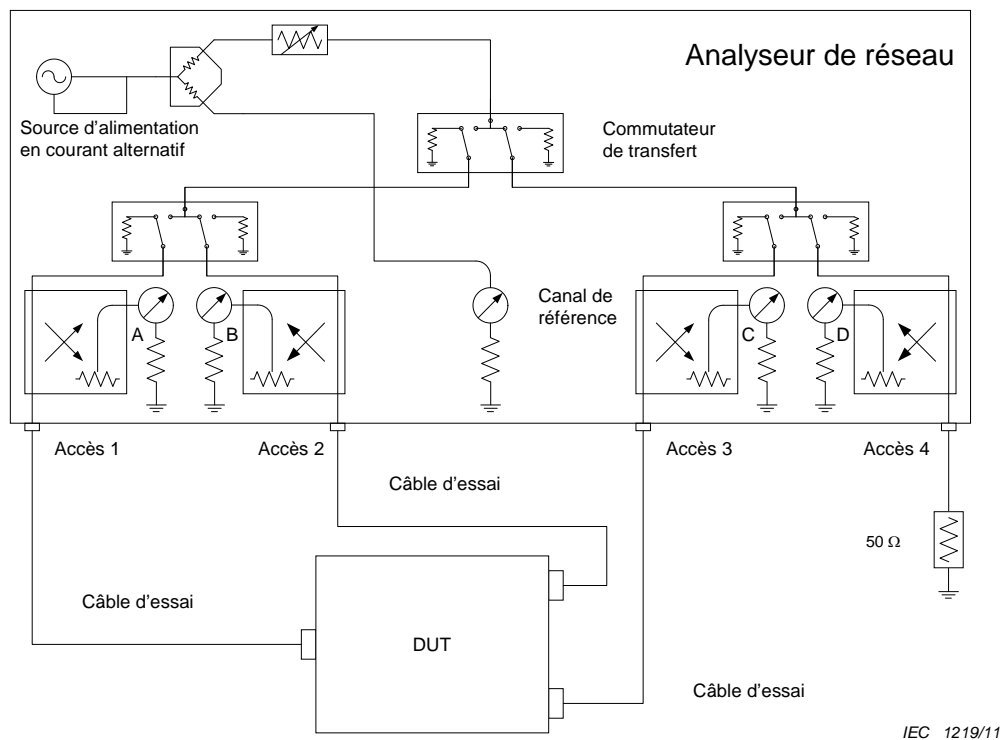
IEC 1218/11

Légende

Nom de la procédure	Référence du paragraphe	Nom de la procédure	Référence du paragraphe
Début		Essai de température	5.3.1.2
Essai des caractéristiques RF		Affaiblissement d'insertion	3.4.2.5 et 5.2.1
Fiabilité		Affaiblissement d'écho	3.4.2.7 et 5.2.2
Fin		Largeur de bande	3.4.2.15 et 5.2.3
Ondulation	3.4.2.9 et 5.2.5	Isolement	3.4.2.8 et 5.2.4
Rapport d'onde stationnaire en tension	5.2.6 Rapport d'onde stationnaire en tension	Capacité de traitement de puissance	5.3.1.1
Impédance d'entrée et de sortie	3.4.3.2.3 et 3.4.2.2.4		

NOTE Les filtres et les duplexeurs BAW peuvent être mesurés, comme représenté à la Figure 7. Après le montage des dispositifs BAW sur un dispositif d'essai, les caractéristiques RF sont mesurées au moyen d'un analyseur de réseau ou d'un matériel équivalent. Si les mesures sont satisfaisantes, les essais de fiabilité (de température (cycles thermiques), de chocs, de traitement de puissance RF, etc.) sont réalisés en vue d'un usage commercial.

Figure 6 – Procédure de mesure des filtres et des duplexeurs BAW



Légende

Composants et appareils de mesure pour contrôler

DUT: Dispositif en essai	Une pièce du résonateur ou du filtre BAW ou du duplexeur BAW
A (canal):	Pour détecter l'accès 1 réfléchi à partir de l'entrée d'une pièce du DUT
B (canal):	Pour détecter l'accès 2 réfléchi à partir de l'entrée d'une pièce du DUT
C (canal):	Pour détecter l'accès 3 réfléchi à partir de l'entrée d'une pièce du DUT
D (canal):	Pour détecter l'accès 4 de la puissance transmise à travers le DUT.
Canal de référence (appareil de mesure):	Pour détecter l'alimentation électrique en watts afin de maintenir un niveau spécifié

Matériels et alimentations

Sourcé d'alimentation à courant alternatif :	Pour fournir un niveau spécifié de l'énergie électrique à un type de commutateur de transfert
Commutateur de transfert:	Pour transférer une puissance d'entrée spécifiée par commutation vers le port 1 ou le port 2
Câble d'essai:	
Analyseur réseau:	Pour mesurer les paramètres-S à travers une pièce du DUT

NOTE D'autres matériels d'essais de filtre peuvent également être utilisés à la place de l'analyseur de réseau. Dans le cas de duplexeurs BAW, il convient qu'un accès neuf soit terminé par 50 Ω ou 75 Ω, au cours de la mesure.

Figure 7 – Montage de mesure électrique des résonateurs, filtres et duplexeurs BAW

5.2 Caractéristiques RF

5.2.1 Affaiblissement d'insertion, IA

Lorsque la puissance incidente est appliquée à l'accès d'entrée du duplexeur ou du filtre passe-bande, il s'agit d'un rapport mesuré entre la puissance transmise à l'accès de sortie et la puissance incidente. L'affaiblissement d'insertion du filtre passe-bande est obtenu à partir

du paramètre S mesuré - S_{21} . Les affaiblissements d'insertion du duplexeur sont obtenus à partir du paramètre S mesuré - S_{13} (Tx-Ant) et S_{32} (Ant-Rx). L'affaiblissement d'insertion est normalement exprimé en décibels (dB) et obtenu par l'équation suivante.

$$IA = -20\log(|S_{21}|) = 20\log(|\Gamma|) \text{ [dB]} \quad (9)$$

Il convient que l'affaiblissement d'insertion mesuré du duplexeur ou du filtre passe-bande soit inférieur à l'affaiblissement d'insertion minimal exigé, donné par les utilisateurs, à la bande de fréquences des applications. La Figure 8 représente la forme graphique de l'affaiblissement d'insertion mesuré.

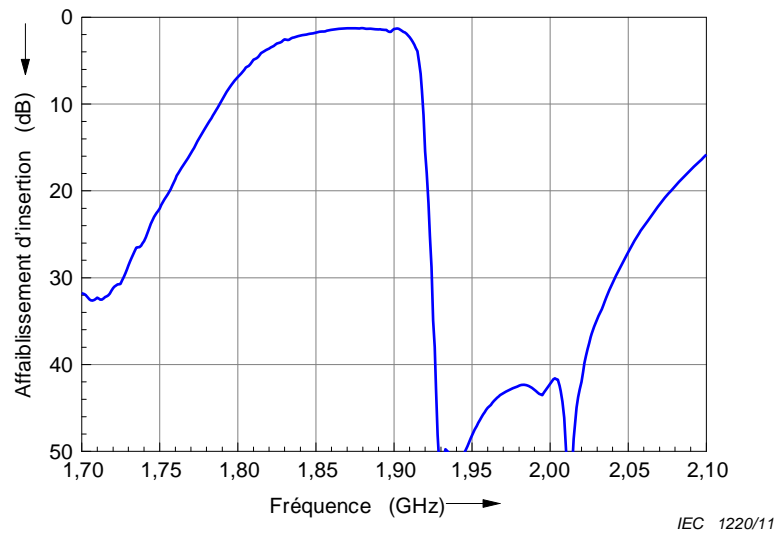


Figure 8 – Affaiblissement d'insertion du filtre BAW

5.2.2 Affaiblissement d'écho, RA

Il s'agit du rapport mesuré, normalement exprimé en dB, de la puissance réfléchie à la puissance incidente. Il est obtenu à partir du paramètre S mesuré, S_{11} dans le filtre passe-bande.

$$RA = -20\log|S_{11}| = 20\log|\Gamma| \text{ [dB]} \quad (10)$$

Dans le cas du duplexeur, les affaiblissements d'écho sont obtenus à partir des paramètres S mesurés, S_{11} (pour la bande Tx) et S_{33} (pour la bande Rx). La Figure 9 représente la forme graphique de l'affaiblissement d'écho mesuré. L'affaiblissement d'écho est normalement exprimé en décibels (dB)

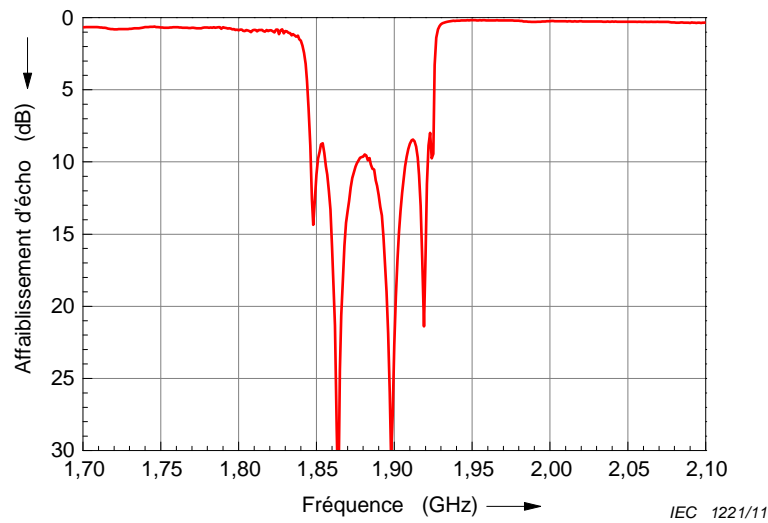


Figure 9 – Affaiblissement d'écho du filtre BAW

5.2.3 Largeur de bande

Il s'agit de la plage de fréquence de fonctionnement du filtre passe-bande ou du duplexeur comportant des caractéristiques RF suffisamment bonnes pour être utilisées dans des sous-systèmes et des applications systèmes. Il s'agit de la plage mesurée, normalement exprimée en Hz, de la séparation entre la valeur spécifiée relative inférieure et supérieure de la courbe de réponse en fréquence.

$$BW = f_{\text{upper}(\text{specified})} - f_{\text{lower}(\text{specified})} \text{ Hz} \quad (11)$$

On l'obtient à partir des paramètres S mesurés – S_{21} (filtre passe-bande), S_{31} (Tx-Ant pour duplexeur) et S_{32} (Ant-Rx pour duplexeur). Les fréquences supérieures et inférieures sont sélectionnées lorsque l'atténuation relative atteint une valeur déterminée.

5.2.4 Isolement

L'énergie RF peut fuir d'un conducteur vers un autre par rayonnement, ionisation, couplage capacitif, ou couplage inductif. Dans le cas de duplexeur, l'isolement correspond à la mesure du niveau de puissance entre les accès d'une antenne d'émission, Tx et d'une antenne de réception, Rx après la terminaison d'un accès d'antenne avec 50Ω . L'isolement est normalement spécifié en dB en dessous du niveau de puissance d'entrée.

$$Isolation = -20 \log |S_{21}| \text{ [dB]} \quad (12)$$

Il convient que l'isolement mesuré du duplexeur BAW soit supérieur à l'isolement requis fourni par les utilisateurs. La Figure 10 représente la forme graphique des caractéristiques d'isolement mesurées.

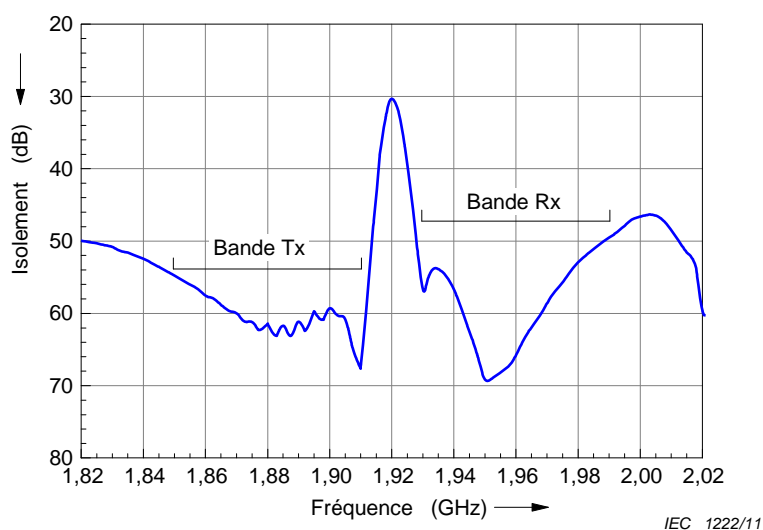


Figure 10 – Isolement (Tx-Rx) du duplexeur BAW

5.2.5 Ondulation

L'ondulation dans la bande est définie comme la fluctuation de l'affaiblissement d'insertion à l'intérieur de la bande passante. La Figure 11 représente la forme graphique des caractéristiques d'ondulation mesurées.

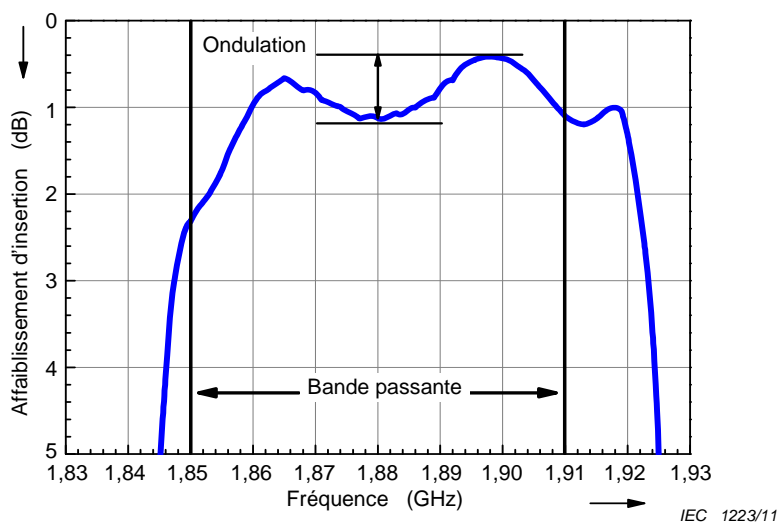


Figure 11 – Ondulation du filtre BAW

5.2.6 Rapport d'onde stationnaire en tension (VSWR : Voltage standing wave ratio)

Il s'agit du rapport mesuré entre le champ électrique à un maximum de tension sur une ligne de transmission et le champ électrique d'un minimum de tension adjacente. Il s'agit d'une mesure de désadaptation d'une ligne.

$$VSWR = \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right) = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|}, \Gamma \text{ est un coefficient de réflexion.} \tag{13}$$

Dans l'Equation (13) ci-dessus, ce coefficient est obtenu à partir de l'équation suivante:

$$|\Gamma| = 10^{-\frac{RA}{20}} \quad (14)$$

où

RA est l'atténuation de retour.

L'atténuation de retour est obtenu en mesurant les paramètres s décrit en 5.2.2.

5.2.7 Impédances de sortie et d'entrée

Il s'agit de la connexion d'impédance supplémentaire à une impédance existante, afin d'accomplir un effet spécifique, tel que celui d'équilibrer un circuit ou de réduire une réflexion dans les dispositifs BAW. Généralement, l'impédance de charge est fixée à 50Ω . Ainsi, il convient d'adapter l'impédance caractéristique à 50Ω , en vue de la transmission RF hautement efficace. L'impédance pour le filtre passe-bande est obtenue à partir de l'abaque de Smith mesuré - S_{11} . L'impédance pour le duplexeur est obtenue à partir de l'abaque de Smith mesuré - S_{11} et S_{22} . Le centre de l'abaque de Smith est le point 50Ω .

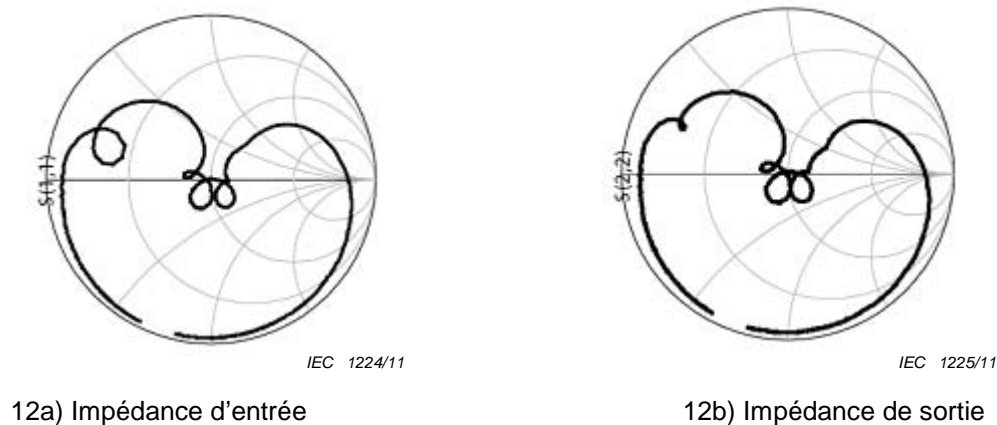


Figure 12 – Tracé de l'abaque de Smith des impédances d'entrée et de sortie du filtre BAW

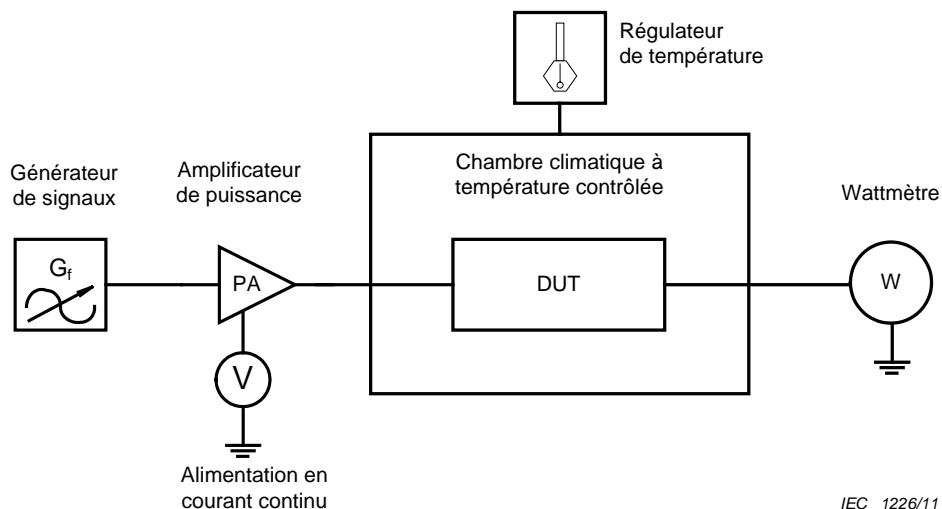
5.3 Méthode d'essai de fiabilité

5.3.1 Procédure d'essai

Pour soumettre à l'essai la durée de vie des duplexeurs ou des filtres passe-bande BAW, les dispositifs doivent être mis en fonctionnement à de nombreuses reprises, jusqu'à ce qu'une défaillance se produise. La méthode la plus simple pour surveiller le fonctionnement des dispositifs est d'appliquer un signal à onde entretenue aux dispositifs et de mesurer le signal RF modulé qui découle des dispositifs. La Figure 13 représente un montage d'essai de la fiabilité des dispositifs BAW.

Pour soumettre la fiabilité à l'essai, on réalise la procédure d'essai suivante:

- Le signal émanant du générateur de signaux est amplifié comme niveau de puissance spécifié via l'amplificateur de puissance (PA).
- Le signal amplifié est appliqué à l'accès d'entrée du duplexeur ou du filtre passe-bande.
- Le signal de sortie passant par le duplexeur ou le filtre passe-bande est mesuré par l'appareil de mesure de la puissance.
- L'essai est réalisé à nouveau pendant quelques mois.



Légende

Composants et appareils de mesure pour contrôler		Equipements et alimentations	
Dispositif en essai	Une pièce du résonateur ou du filtre BAW	G _f : générateur de signaux	Pour fournir un signal spécifié à un type d'amplificateur de puissance
V:	Voltmètre	PA: amplificateur de puissance	Pour appliquer un signal amplifié à l'accès d'entrée d'une pièce du dispositif en essai (DUT)
W: wattmètre	Pour surveiller la valeur de la puissance de sortie (en watts) d'une pièce du dispositif en essai	Régulateur de température	Pour définir une valeur de température spécifiée d'une chambre climatique à température contrôlée
		Alimentation en courant continu	Pour appliquer une tension à courant continu spécifiée à un type d'amplificateur de puissance
		Chambre climatique à température contrôlée	Pour maintenir une valeur de température précise d'une pièce du dispositif en essai

Figure 13 – Schéma fonctionnel d'un montage d'essai en vue de l'évaluation de la fiabilité des résonateurs et des filtres BAW

5.3.1.1 Capacité de traitement de puissance

Il s'agit de la puissance RF maximale mesurée qui peut être transférée de l'accès d'entrée vers l'accès de sortie, lorsque le duplexeur ou le filtre passe-bande est mis en fonctionnement.

5.3.1.2 Essai de température

L'objet de cet essai est d'évaluer sa fiabilité par un essai de cycles de basses/hautes températures. Il convient de spécifier la plage de températures à partir des applications. D'abord, l'essai est réalisé dans la chambre climatique d'essais de cycles de températures, puis, cet essai consiste à placer le duplexeur fini dans un four. Les caractéristiques fonctionnelles sont surveillées par un analyseur de réseau.

Annexe A (informative)

Géométries des résonateurs BAW

A.1 Type gravé en face arrière

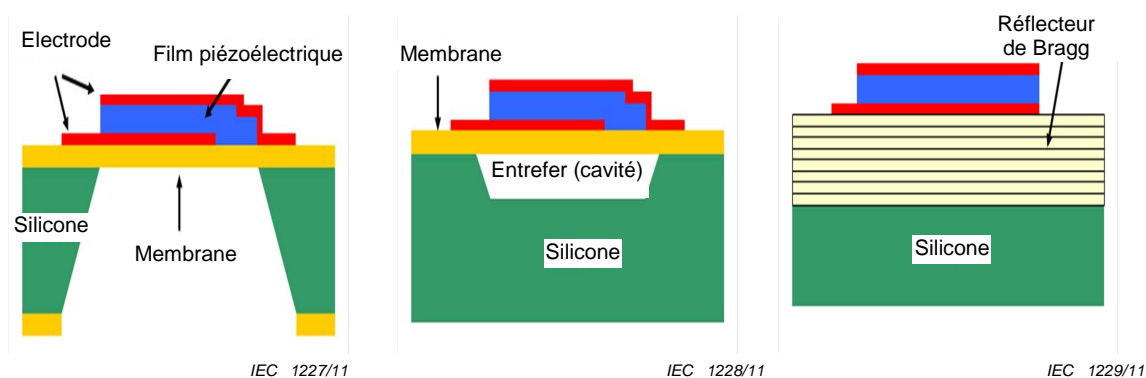
Le résonateur soumis à la gravure humide sur sa face arrière est fabriqué par gravure anisotrope de la face arrière du substrat à l'aide de solutions chimiques humides, telles que KOH, NaOH, et TMAH. Cette procédure emploie une membrane servant de support au dispositif résonateur. Depuis peu, le procédé de la gravure sèche du silicium est également utilisé.

A.2 Type entrefer

Le résonateur à entrefer est fabriqué en retirant la couche sacrificielle formée sur la partie supérieure du substrat à travers les trous de gravure. Lorsque des produits chimiques humides sont utilisés pour graver la couche sacrificielle, on rencontre couramment le problème du frottement par adhérence. De ce fait, les techniques de gravure sèche sont largement utilisées. Etant donné que la taille du résonateur à entrefer est bien plus réduite que celle du résonateur avec gravure de la face arrière, on l'utilise largement pour la réalisation des filtres et des duplexeurs.

A.3 Type SMR (*solidly-mounted resonator* / résonateur à montage solide)

Le résonateur SMR est fabriqué en constituant un réflecteur de Bragg sur la partie supérieure du substrat qui comprend plusieurs couches de différents matériaux comportant des impédances acoustiques élevées et faibles. Son rôle consiste à piéger l'énergie. L'épaisseur de couche du réflecteur de Bragg doit être soumise à un contrôle exact, mais il n'est toutefois pas aisé de contrôler l'épaisseur d'un ensemble de couches quart d'onde.



A.1a) Type gravé en face arrière

A.1b) Type entrefer

A.1c) Type SMR

Figure A.1 – Comparaison de géométrie entre les résonateurs BAW

Annexe B (informative)

Fonctionnement des résonateurs BAW

B.1 Principe de fonctionnement des résonateurs BAW

Lorsque l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique dans le résonateur BAW, avec une propagation des ondes acoustiques dans une plaque parallèle, l'énergie est dirigée dans le corps du dispositif. L'énergie acoustique primaire est longitudinale.

La fréquence de résonance est quasiment déterminée par l'épaisseur du film piézoélectrique. Elle est déterminée par l'équation suivante, $f_{res} = (2n+1)v/2d$, où v correspond à une vitesse des ondes acoustiques à la fréquence de résonance (f_{res}), n est un nombre entier, et d est l'épaisseur du film piézoélectrique.

B.2 Principe de résonance

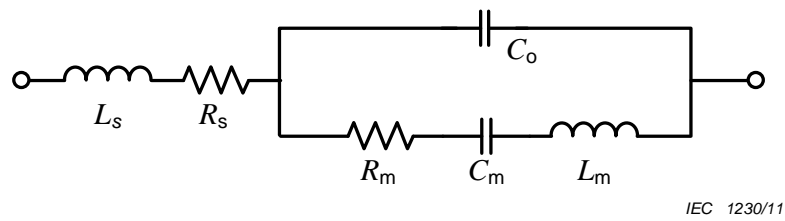
Le matériau piézoélectrique du résonateur BAW convertit l'énergie électrique RF en énergie mécanique (par rapport à l'onde acoustique) et vice versa. Ainsi, la piézoélectricité de ZnO ou de AlN, le degré de possibilité de passage de (l'onde de) signal électrique RF en onde acoustique, induisent la résonance et la propriété de sélection d'une fréquence utile.

Si on considère le résonateur BAW constitué d'un film mince piézoélectrique inséré en sandwich entre deux électrodes parallèles. Un état de résonance se produit si l'épaisseur du film mince piézoélectrique (d) est égale à un multiple impair de la moitié de la longueur d'onde (λ_{res}). La fréquence de résonance fondamentale ($f_{res} = 1/\lambda_{res}$) est alors inversement proportionnelle à l'épaisseur du film piézoélectrique, et est égale à $v_a/2d$ où v_a correspond à une vitesse d'onde acoustique à la fréquence de résonance (f_{res}).

Comme la tension alternative est appliquée à travers la couche piézoélectrique, la motion acoustique sera induite par la force mécanique engendrée par la piézoélectricité. Par ailleurs, des charges électriques seront amenées aux électrodes par des champs électriques associés à la propagation d'ondes acoustiques. Ces relations peuvent être réduites à un circuit électromécanique équivalent de la Figure 5. Ainsi, les fréquences de résonance peuvent être calculées en utilisant ces paramètres du circuit équivalent.

Résonance série	$f_s = (1/2\pi)(L_m C_m)^{-1/2}$	Résonance parallèle	$f_p = (1/2\pi)(L_m C_m)^{-1/2}(1 + C_m/C_o)^{-1/2}$
--------------------	----------------------------------	------------------------	------------------------------------------------------

La résonance en série appelée résonance se produit lorsqu'une impédance électrique entre les deux électrodes atteint un minimum. Par ailleurs, la résonance parallèle appelée anti-résonance se produit légèrement au-dessus de la résonance lorsqu'une impédance électrique atteint un maximum.

**Légende**

L_s	inductance série	R_s	résistance série
R_m	résistance dynamique	C_m	capacité dynamique
L_m	inductance dynamique	C_0	capacité parallèle

Figure B.1 – Modèle de circuit équivalent au BVD modifié (Butterworth-Van Dyke)

Le modèle BVD d'un résonateur BAW présenté à la Figure 5 est souvent modifié pour des applications pratiques, comme représenté à la Figure B.1. La résistance série R_s et l'inductance série de L_s représentent les électrodes d'interconnexion et la résistance parallèle R_0 exprime la variation de dissipation d'énergie avec la fréquence.

Bibliographie

CEI 60368-1:2000, *Filtres piézoélectriques sous assurance de la qualité – Partie 1:Spécification génériques*
Amendement 1:2004

CEI 60368-2-1, *Filtres piézoélectriques – Partie 2: Guide d'emploi des filtres piézoélectriques – Section un: Filtres à quartz*

CEI 60368-2-2, *Filtres piézoélectriques – Partie 2: Guide d'emploi des filtres piézoélectriques – Section 2: Filtres à céramique piézoélectrique*

CEI 60862-1:2003, *Filtres à ondes acoustiques de surface (OAS) sous assurance de la qualité – Partie 1: Spécification générique*

CEI 60862-2, *Filtres à ondes acoustiques de surface (OAS) sous assurance de la qualité – Part 2: Guide d'utilisation*

CEI/TS 61994-1:2007, *Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection – Glossary – Part 1: Piezoelectric and dielectric resonators* (disponible en anglais seulement)

CEI/TS 61994-2:2000, *Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence – Glossaire – Partie 2: Filtres piézoélectriques et diélectriques*

CEI 61261-1, *Filtres à céramique piézoélectrique destinés aux équipements électroniques – Spécification dans le système CEI d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ) – Partie 1:Spécification générique – Homologation*

CEI 61261-2, *Filtres à céramique piézoélectrique destinés aux équipements électroniques – Spécification dans le système CEI d'assurance de la qualité des composants électroniques (IECQ) – Partie 2:Spécification intermédiaire – Homologation*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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