

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Guidelines for the measurement method of power durability for surface acoustic wave (SAW) and bulk acoustic wave (BAW) devices in radio frequency (RF) applications

Lignes directrices relatives à la méthode de mesure de la durabilité de puissance des appareils à ondes acoustiques de surface (OAS) et des appareils à ondes acoustiques de volume (OAV) dans les applications de radiofréquence (RF)



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Guidelines for the measurement method of power durability for surface acoustic wave (SAW) and bulk acoustic wave (BAW) devices in radio frequency (RF) applications

Lignes directrices relatives à la méthode de mesure de la durabilité de puissance des appareils à ondes acoustiques de surface (OAS) et des appareils à ondes acoustiques de volume (OAV) dans les applications de radiofréquence (RF)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-8253-3

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
3.1 General terms	6
3.2 Durability related terms	11
4 Basic properties of life time of RF SAW/BAW devices.....	12
4.1 Life time and accelerated testing.....	12
4.2 Failure mechanisms	14
4.2.1 General	14
4.2.2 Acoustomigration	15
4.2.3 Self-heating and thermal run-away	16
4.2.4 Other mechanisms.....	16
4.3 Modelling	16
5 Life time measurement	18
5.1 Measurement setup	18
5.2 Measurement procedure	19
5.3 Life time estimation.....	20
5.4 Measurement specifications	20
Bibliography.....	21
Figure 1 – FBAR configuration	8
Figure 2 – SMR configuration.....	9
Figure 3 – Frequency response of an RF SAW/BAW filter	9
Figure 4 – Arrhenius plot when multiple mechanisms are contributing	13
Figure 5 – Structure of ladder filter	14
Figure 6 – Typical transmission characteristic of ladder filter	14
Figure 7 – Creation of voids and hillocks.....	15
Figure 8 – Translation of the filter pass band with temperature change	17
Figure 9 – Basic setup for TF measurement at RF power application	18
Figure 10 – Basic setup for TF measurement of SAW/BAW duplexer	18
Figure 11 – Setup for TF measurement including filter response monitoring.....	19
Figure 12 – Another setup for TF measurement including filter response monitoring	19

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDELINES FOR THE MEASUREMENT METHOD OF
POWER DURABILITY FOR SURFACE ACOUSTIC WAVE (SAW)
AND BULK ACOUSTIC WAVE (BAW) DEVICES IN
RADIO FREQUENCY (RF) APPLICATIONS**

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 63155 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
49/1339/FDIS	49/1342/RVD

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63155:2020

INTRODUCTION

Radio frequency (RF) surface acoustic wave (SAW) and bulk acoustic wave (BAW) devices are now widely used in various communication systems owing to their features such as small size, light weight, little or no need for tuning, high stability and high reliability.

One of the most important applications of the devices is the antenna duplexer in mobile communication devices which separates incoming receiving (Rx) signals from base-stations and outgoing transmitting (Tx) signals in the frequency domain. It is known that acoustic vibration can accelerate destruction of electrode metals in the inter-digital transducers (IDTs) employed, which results in device failure. Thus, the device life time (time to failure, TF) is dependent on not only the chip temperature but also on input power level and frequency of the applied radio frequency signal. It should be noted that chip temperature can be somewhat different from the environmental temperature because the input power level of TX signals in the above-mentioned applications is about 1 W at maximum, and heat generation due to power consumption is not negligible.

The requisite TF of the SAW/BAW duplexers is usually specified by input power level, exposure frequency range and environmental temperature. Nevertheless, TF measurement under given specifications is not realistic because the requisite TF is too long (could be up to many years). Accelerated life time testing is applied to shorten the TF. TF is measured in more severe situations, namely at higher power and/or higher ambient temperature. TF under given specifications is estimated by extrapolation based on the Arrhenius model including the inverse power law. Although the model explains the variation of the TF with respect to input power level and temperature well, the parameters appearing in the model need to be determined experimentally, and its procedures have not been well established. Therefore, measurement methods will be specifically established for TF estimation of RF SAW/BAW devices.

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

GUIDELINES FOR THE MEASUREMENT METHOD OF POWER DURABILITY FOR SURFACE ACOUSTIC WAVE (SAW) AND BULK ACOUSTIC WAVE (BAW) DEVICES IN RADIO FREQUENCY (RF) APPLICATIONS

1 Scope

This document defines the measurement method for the determination of the durability of radio frequency (RF) surface acoustic wave (SAW) and bulk acoustic wave (BAW) devices, such as filters and duplexers, with respect to high power RF signals, which are used in telecommunications, measuring equipment, radar systems and consumer products. RF BAW devices include two types: those based on the film bulk acoustic resonator (FBAR) technology and those based on the solidly mounted resonator (SMR) technology.

This document includes basic properties of failure of RF SAW/BAW devices, and guidelines to set up the measurement system and to establish the procedure to estimate the time to failure (TF). Since TF is mainly governed by the RF power applied in the devices, discussions are focused on the power durability.

It is not the aim of this document to explain the theory, or to attempt to cover all the eventualities which can arise in practical circumstances. This document draws attention to some of the more fundamental questions which will need to be considered by the user before he/she places an order for an RF SAW/BAW device for a new application. Such a procedure will be the user's means of preventing unsatisfactory performance related to premature device failure resulting from high-power exposure of RF SAW/BAW devices.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

3.1 General terms

3.1.1

BAW

bulk acoustic wave

acoustic wave, propagating between the top and bottom surface of a piezoelectric structure and then traversing the entire thickness of the piezoelectric bulk

Note 1 to entry: The wave is excited by metal electrodes attached to both sides of the piezoelectric layer.

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.1]

3.1.2

BAW filter

bulk acoustic wave filter

filter characterised by a bulk acoustic wave which is usually generated by a pair of electrodes and propagates along a thin film thickness direction

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.2]

3.1.3**cut-off frequency**

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

[SOURCE: IEC 60862-1:2015, 3.1.2.4, modified – The reference to Figure 1 has been deleted.]

3.1.4**duplexer**

device used in the frequency division duplex system, which enables the system to receive and transmit signal through a common antenna simultaneously

[SOURCE: IEC 62761:2014, 3.1.5]

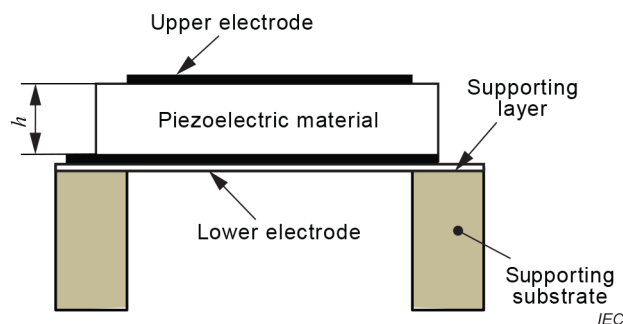
3.1.5**film bulk acoustic resonator****FBAR**

thin film BAW resonator consisting of a piezoelectric layer sandwiched between two electrode layers with stress-free top and bottom surfaces supported mechanically at the edge on a substrate with cavity structure as shown in Figure 1 or membrane structure as an example

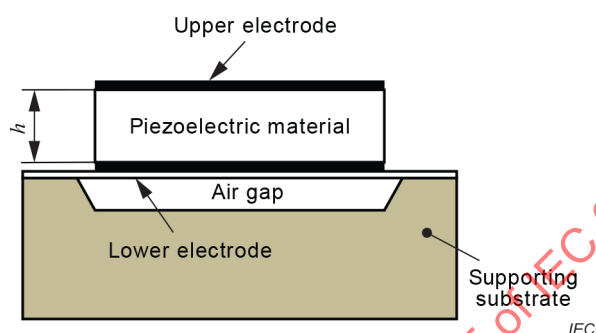
Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.3, modified – Figure 1 c) has been added.]

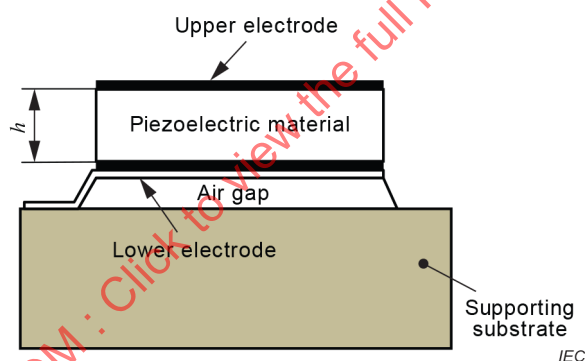
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63155:2020



a) Back-side etched



b) Front-side etched



c) Sacrificial-layer etched

Figure 1 – FBAR configuration

3.1.6 solidly mounted resonator SMR

BAW resonator, supporting the electrode/piezoelectric layer/electrode structure by a sequence of additional thin films of alternately low and high acoustic impedance Z_a with quarter wavelength layer, and these layers act as acoustic reflectors and decouple the resonator acoustically from the substrate as shown in Figure 2 as an example

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.4]

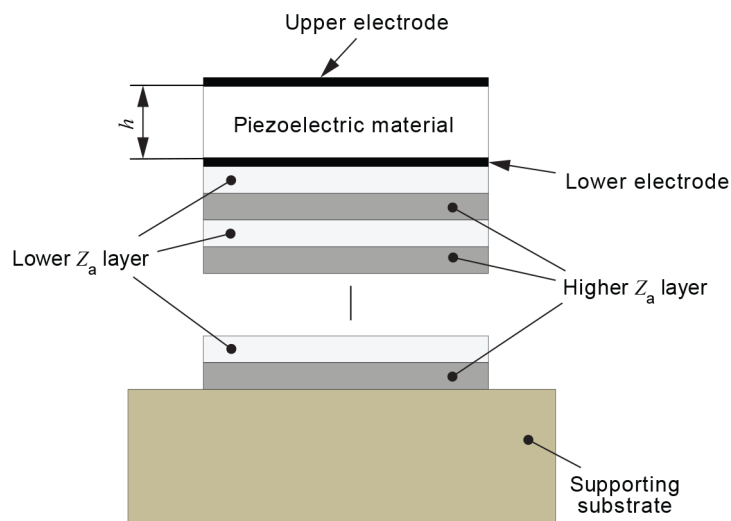


Figure 2 – SMR configuration

3.1.7

response characteristic

SEE: Figure 3

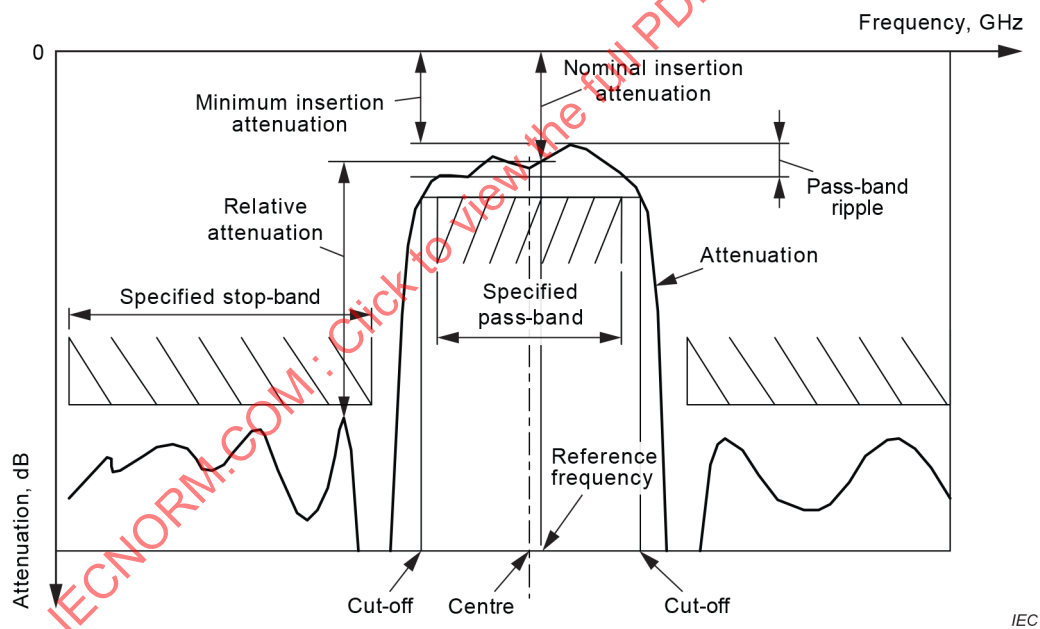


Figure 3 – Frequency response of an RF SAW/BAW filter

3.1.8

input impedance

impedance presented by the filter/duplexer to the signal source when the output is terminated by a specified load impedance

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.22, modified – "duplexer" has been replaced by "filter/duplexer".]

3.1.9

input level

power, voltage or current value applied to the input port of a filter/duplexer

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.19, modified – "duplexer" has been replaced by "filter/duplexer".]

3.1.10

insertion attenuation

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.2, modified – "duplexer" has been replaced by "filter/duplexer".]

3.1.11

operating temperature range

range of temperatures, over which the SAW/BAW filter/duplexer will function while maintaining its specified characteristics within specified tolerances

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.16, modified – "BAW filter" has been replaced by "SAW/BAW filter/duplexer".]

3.1.12

output impedance

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.23, modified – "duplexer" has been replaced by "filter/duplexer".]

3.1.13

output level

power, voltage or current value delivered to the load circuit

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.20]

3.1.14

pass band

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.5]

3.1.15

pass bandwidth

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.6]

3.1.16

reflectivity

dimensionless measure of the degree of mismatch between two impedances Z_a and Z_b :

$$\frac{Z_a - Z_b}{Z_a + Z_b},$$

where Z_a and Z_b represent, respectively, the input and source impedance or the output and load impedance

Note 1 to entry: The absolute value of reflectivity is called the reflection coefficient.

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.17]

3.1.17**Rx filter**

filter used in a receiver part to eliminate unnecessary/unwanted signals

Note 1 to entry: The Rx filter is a basic part of a duplexer.

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.3.4, modified – "RX" has been replaced by "Rx" in the term, "/unwanted" has been added to the definition and Note 2 to entry has been omitted.]

3.1.18**SAW filter**

filter characterised by one or more surface acoustic wave transmission line or resonant elements, where the surface acoustic wave is usually generated by an interdigital transducer and propagates along a material surface

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.1.2, modified – The term "surface acoustic wave filter" has been omitted.]

3.1.19**stop band**

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

3.1.20**SAW****surface acoustic wave**

acoustic wave, propagating along a surface of an elastic material, whose amplitude decays exponentially with the depth

[SOURCE: IEC 60862-1:2015, 3.1.1.1]

3.1.21**Tx filter**

filter used in a transmitter part to eliminate unnecessary/unwanted signals

Note 1 to entry: This is a basic part of a duplexer.

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.3.3, modified – "TX" has been replaced by "Tx" in the term, "/unwanted" has been added to the definition and Note 2 to entry has been omitted.]

3.2 Durability related terms**3.2.1****accelerated life time testing**

testing strategy whereby the engineer extrapolates a product's failure behaviour at normal conditions from life data obtained at accelerated stress levels

Note 1 to entry: Since products fail more quickly at higher stress levels, this sort of strategy allows the engineer to obtain reliability information about a product (e.g., mean life, probability of failure at a specific time, etc.) in a shorter time.

3.2.2**acceleration factor**

ratio of the product's life at the used stress level to its life at an accelerated stress level

Note 1 to entry: For example, if the product has a life of 100 h at the used stress level, and it is being tested at an accelerated stress level which reduces its life to 50 h, then the acceleration factor is 2.

3.2.3

Arrhenius model

model used in accelerated life time testing to establish a relationship between absolute temperature and reliability

Note 1 to entry: It was originally developed by Swedish chemist Svante Arrhenius to define the relationship between temperature and the rates of chemical reaction.

Note 2 to entry: Additional mathematical models are available to describe a product's life-stress relationship, which is how stress levels affect the reliability of a product.

3.2.4

inverse power law

accelerated life time testing model commonly used when the accelerating factor is a single, non-thermal stress (e.g. power, vibration, voltage or temperature cycling)

3.2.5

stress

factor which causes failure: operation and storage temperatures, humidity, incident power, ultraviolet irradiation, and mechanical shock are examples

3.2.6

stress testing

testing strategy whereby units are tested at stresses higher than those that would be encountered during normal operating conditions, usually to induce failures

4 Basic properties of life time of RF SAW/BAW devices

4.1 Life time and accelerated testing

Many SAW/BAW devices are required to fulfil the component specification for a certain number of years under normal operating conditions. Failure is defined as a situation in which performance becomes worse than that given in the specification.

For this purpose, we need to estimate TF under the toughest situations encountered in normal operating conditions. Since it is not acceptable for engineers to spend many years on TF estimation, a strategy called "accelerated life time testing" is widely adopted. In this strategy, TF at normal conditions is estimated by extrapolation from TF data obtained at tougher operating conditions or accelerated stress levels in the terminology of reliability engineering. Since products will fail more quickly, this strategy allows us to obtain information on the reliability of the products in a shorter period of time.

There are many possible failure mechanisms, such as oxidization, cracking, leakage, and peeling off, and there are many possible locations where failure occurs.

When one failure mechanism is dominant, TF is known to exhibit the following dependence on the absolute temperature T

$$TF = a \exp\left(\frac{E}{kT}\right), \quad (1)$$

where a is a factor discussed later, k is the Boltzmann constant and E is a parameter which varies with the failure mechanism. This dependence is the same as that for chemical reaction, and it is called the Arrhenius equation and E is referred to the activation energy. Taking the logarithm for both sides, equation (1) can be rewritten as

$$\log_e TF = \frac{E}{kT} + \log_e a \quad (2)$$

Thus, plotting $\log_e TF$ against T^{-1} gives a straight line, and its gradient and y -intercept are given by E/k and $\log_e a$, respectively. This plot is called the Arrhenius plot.

When multiple mechanisms are contributing, the Arrhenius plot can draw a polygonal line as shown in Figure 4. This is because different mechanisms possess different activation energies, and failure is triggered from the weakest point, which can vary with temperature.

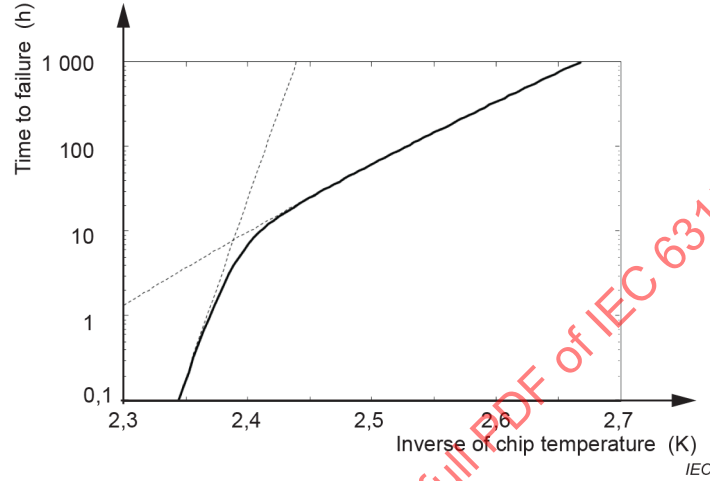


Figure 4 – Arrhenius plot when multiple mechanisms are contributing

The factor a is dependent on other stresses such as electrical power applied, humidity, and, in many cases, its dependence on each stress x follows the inverse power law given by

$$a = \alpha x^{-\beta}, \quad (3)$$

where α and β are constants. The combination of equations (1) and (3) gives

$$TF = \alpha x^{-\beta} \exp\left(\frac{E}{kT}\right), \quad (4)$$

and its logarithm form is given by

$$\log_e TF = \log_e \alpha - \beta \log_e x + \frac{E}{kT}. \quad (5)$$

Thus, we can estimate α and β from the log-log plot between TF and x under a fixed T . When multiple mechanisms are contributing, the log-log plot may be a polygonal line.

It should be noted that stresses such as applied electrical power may affect T due to heat up by power dissipation. This means T should be controlled or known for determining the life-time model even when T is not chosen as a parameter for the acceleration.

4.2 Failure mechanisms

4.2.1 General

A ladder type arrangement shown in Figure 5 is commonly used as a configuration of RF SAW/BAW filters for high power applications.

Each resonator possesses two types of resonances: series resonance (or simply resonance) where the electrical impedance becomes extremely low and parallel resonance (or anti-resonance) where the impedance becomes extremely high. The frequency giving the anti-resonance f_a (called the anti-resonance frequency) is a little higher than that giving the resonance f_r (called the resonance frequency). Fractional difference between f_r and f_a is primarily determined by strength of piezoelectricity.

When the f_r of resonators R_s in series arms, f_{rs} , is set close to the f_a of resonators in parallel arms R_p , f_{ap} , the transmission response shown in Figure 6 can be obtained. On the other hand, notches appear at the f_a of R_s , f_{as} and the f_r of R_p , f_{rp} . Cascading multiple stages is necessary to achieve sufficient out-of-band rejection, which compromises other performances, such as insertion attenuation and fractional pass band width.

The Q factor of resonators determines the insertion attenuation and steepness of the pass band edges.

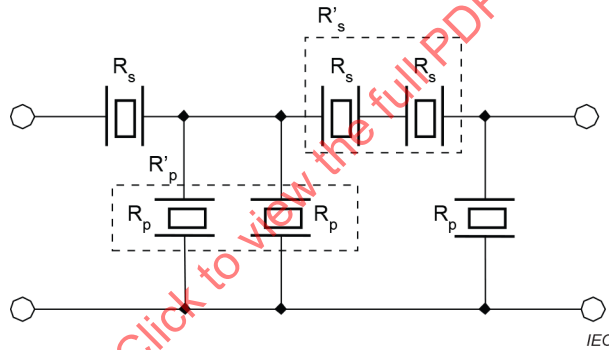


Figure 5 – Structure of ladder filter

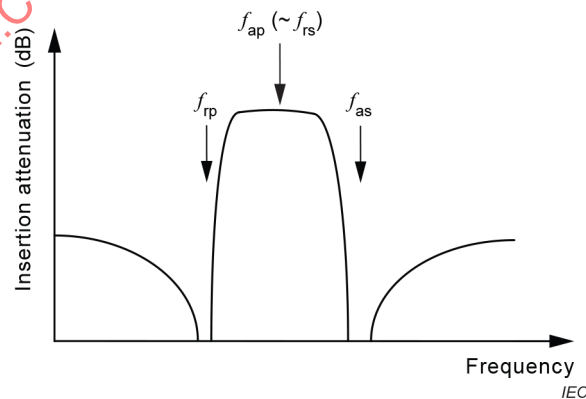


Figure 6 – Typical transmission characteristic of ladder filter

It is known that TF is dependent on the frequency at which the RF power is applied. That is, RF SAW/BAW devices are relatively robust when the power is applied near the filter's centre frequency. On the other hand, TF becomes considerably shorter when the power is applied near the pass band edges. It is also known that R_p near the input port is commonly destroyed when the power is given near the lower pass band edge while R_s near the input port is commonly destroyed when the power is given near the upper pass band edge.

These facts indicate that TF is not governed by RF voltage and current, but by stored RF energy or RF power consumption in the resonators, or by acoustic stress and its location within the structure, both longitudinal and transversal. This is because RF voltage and current given to R_p and R_s , respectively, take maxima near the centre frequency.

It should be noted that when spurious resonance(s) exist in the pass band, they may trigger the device failure and shorten the TF when the RF power is given near these spurious resonances. Even if they seem insignificant in the transmission response, their influence can be obvious especially when the group delay becomes large locally, near the spurious resonance. This is an indicator of an increase in the energy stored in a resonator.

4.2.2 Acoustomigration

It is known that electrode surface is roughed up after exposure to high RF power. This behaviour is very similar to a phenomenon called the electromigration, which occurs in integrated circuits. The electromigration is caused by:

- a) the mechanical impact of electron momenta to electrode metal grains,
- b) the translation (migration) of electrons toward the direction of electron flow, and
- c) the voids that will be created at the upper stream side, while hillocks will be created at the lower stream side as shown in Figure 7.

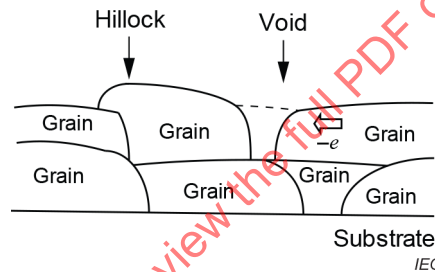


Figure 7 – Creation of voids and hillocks

In RF SAW/BAW devices, this phenomenon is caused by mechanical vibration. Thus, this phenomenon is called the acoustomigration. It is known that the acoustomigration occurs where mechanical stresses are large.

Electrode deformation will cause scattering of acoustic waves and an increase in the electrode resistance. This, subsequently, will result in a degradation of device performance, such as increased insertion attenuation or reduced bandwidth.

Common approaches to reduce this deformation and therefore increase the TF are, for example, as follows.

- The most important approach to control and reduce this phenomenon is to choose appropriate electrode materials and structures. Because low electric resistivity is also required, aluminium (Al) based compounds are widely used. Adding copper enhances binding strength among grains, and adding scandium and magnesium enhances yield strength σ_0 of grains.
- Use of multi-layered structures is also common. This makes the grain size D small, and results in enhancement of σ_0 as indicated by the Hall-Petch equation given below:

$$\sigma_0 = \sigma_i + k \times D^{-0,5}, \quad (6)$$

where σ_i and k are constants.

It is known that the activation energy for Al is about 0,4 eV when the grain boundary is responsible for the failure, while it is about 1,4 eV when the grain itself is responsible.

- Use of new electrode materials such as copper and single-crystal aluminium is also being investigated.
- Series connection of multiple resonators is also a measure widely used. When the number of series-connected resonators is n , the impedance of each resonator is reduced by n to obtain the same impedance. Since the impedance of a resonator is inversely proportional to the electrode area, we can reduce the power density by n^2 with an increase of each resonator area by n . A downside is that the total resonator area will also be increased to at least n^2 times the original.

4.2.3 Self-heating and thermal run-away

The impact of electrode degradation, which occurs gradually, is usually observed in a change in frequency location as well as an increased insertion attenuation. Increase in acoustic and electrical losses causes rising chip temperature, which accelerates the degradation. Thus, when the insertion attenuation reaches a certain level, positive feedback between the self-heating and degradation will destroy electrodes quickly until power consumption becomes negligible.

In many cases, RF SAW/BAW filters exhibit a negative temperature coefficient of frequency (TCF). This means when high power is given at a frequency f_d near the upper edge of the pass band, temperature increase caused by the increased loss will shift the pass band to the lower frequency side, and result in further increase in the insertion attenuation at f_d . This effect will shorten the life time of the device. In contrast, when f_d is set near the lower edge of the pass band, the self-heating will lengthen the life time.

In any case, self-heating has a significant impact on time to failure (TF). Thus, thermal design of heat resistance should be minimized from the SAW/BAW chip to the package.

4.2.4 Other mechanisms

There are many other possible failure mechanisms such as mechanical or chemical degradation of bonding, package and sealing. Even when their effects are negligible under normal operating conditions, they can be significant under the acceleration testing. For example, when extremely high RF power is applied, the SAW/BAW chip can be destroyed quickly due to an imposed high temperature gradient or high electric field. This means the failure mechanism can be changed according to the peak-to-average power ratio (PAPR) when modulated signals are used.

This also means that the amount of stress acceleration shall be set so that the dominant failure mechanism does not change. Microscopic inspection is useful to check how the device under test (DUT) was broken.

4.3 Modelling

The most severe stress for commercial RF SAW/BAW devices is electrical power P . In many cases, the TF of RF SAW/BAW devices follows the model given in equation (4) and its logarithmic form given in equation (5).

Thus, we can estimate α and β from the log-log plot between TF and P under a fixed T . Then using determined α and β , we can estimate TF under normal operating conditions.

There are several key points for the determination of α and β .

- 1) Stress acceleration shall be set so as not to cause changes in the failure mechanism. This can be verified by the continuous variation of TF with respect to the stress.
- 2) P shall be specified, such as (a) incident power at the input port, or (b) transmitted power at the output port. In addition, impedance of peripheral circuits such as power amplifier (PA) and power detector (PD) shall be specified. In general, the incident power is chosen as a parameter.

- 3) The signal port to which RF power is applied shall be specified. This is because chip design of RF SAW/BAW filters is asymmetric in general, and TF changes according to the port where the RF power is applied.
- 4) T is the chip temperature instead of the ambient one T_e . The difference between T_e and T is not negligible. Thus, appropriate means shall be provided to estimate T from T_e for determination of α and β .

A direct way to carry out this estimation is to integrate a temperature sensor on the chip surface. Variation of the filter response can also be used to sense the chip temperature. In the latter case, some particular response shall be chosen, such as resonance and cut-off which is insensitive to parasitic impedance elements. The temperature dependence of the chip should be evaluated in advance.

- 5) Preferably T_e instead of T shall be kept constant during the power acceleration testing. In addition, T shall be determined and considered to determine the life-time model equation (4) or (5).

The chip temperature T used here is an abstraction. It should correspond to the local temperature at the weakest SAW/BAW structure taken from simulations or measurements (e.g., infrared microscopy) or, in a simplified approach it should correspond to the mean chip temperature.

- 6) The RF power shall be applied at a frequency f_t where TF is expected to be the shortest under the normal operating condition. TF changes significantly with the frequency and its incorrect setting can result in change of the failure mechanism.
- 7) Frequently, a continuous wave (CW) signal is applied. For customer applications, other signals may be more relevant and may be chosen to be, for example, an LTE signal (or just a set of resource blocks of it) in the case of a mobile phone system. In the case of non-CW signals, care shall be taken to define the kind of signal with sufficient detail.
- 8) Excess variation of the filter response shall be compensated in the temperature acceleration test. Owing to nonzero TCF, the pass band of the DUT translates according to temperature to the lower or higher frequency side as shown in Figure 8. Thus, RF power shall be applied at a frequency f'_t where f_t is expected to be located in the translated pass band. A simple way is by (a) measuring the filter response in various temperatures, (b) modelling the variation of the filter response with the temperature, and (c) determining f'_t based on the model and temperature. Steps (a) and (b) are performed in advance, and (c) is done during the stress test.

Furthermore, the insertion attenuation increases with T , excluding the pass band shift. This effect shall be taken into account when the reduction of the output power is chosen as the failure criterion.

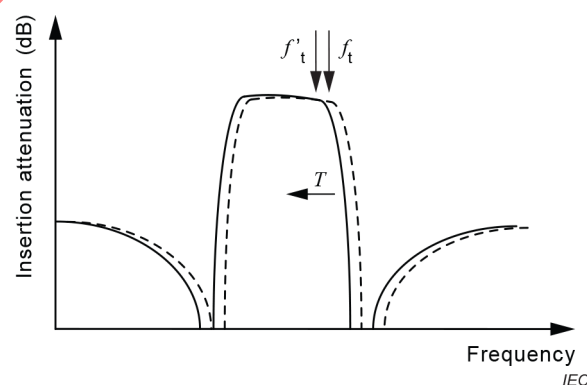


Figure 8 – Translation of the filter pass band with temperature change

5 Life time measurement

5.1 Measurement setup

A basic setup for the TF measurement is shown in Figure 9. An RF signal generated by a signal generator (SG) is amplified by a power amplifier (PA), and its output is incident to the DUT. The DUT output is monitored by an RF power meter (PM). We can detect the DUT failure by abrupt decrease of the output power. Since the PA power gain changes with temperature, the PA shall be heated up for a while prior to the measurement. The DUT is placed in a thermostatic chamber (TSC) to set either the temperature of the chip surface or of the environment as a parameter. The TF is considered reached when either the measured insertion attenuation, i.e. the difference between PM reading and PA output level, or the frequency shift of the transfer characteristics exceeds certain component specifications or application limits. Note that since the frequency shift may not be detectable by this setup, it should be modified as shown in Figure 11 or Figure 12 to be able to monitor the DUT frequency response during the TF measurement.

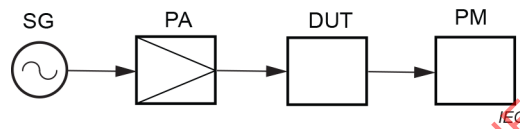


Figure 9 – Basic setup for TF measurement at RF power application

If adding external impedance element(s) is requested in the DUT specification, they shall be given according to the specification. These elements shall be durable enough for the undergoing stress test.

Figure 10 shows the setup when a SAW/BAW duplexer is used as a DUT. RF power is applied to the transmitter (Tx) port while the output is monitored at the antenna (Ant) port. The receiver (Rx) port shall be terminated by an appropriate terminator R_0 .

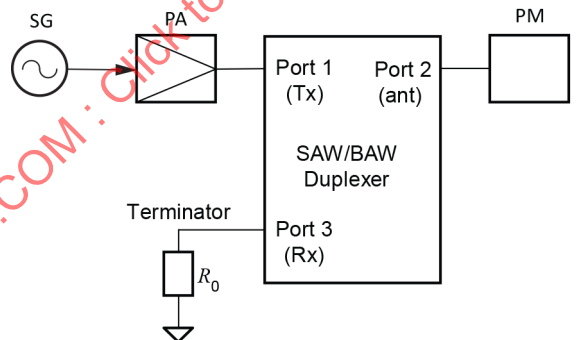


Figure 10 – Basic setup for TF measurement of SAW/BAW duplexer

Figure 11 shows a more practical setup for the TF measurement. Another RF signal emitted by a vector network analyzer (VNA) is incident to the DUT, and its output is detected by the VNA. Directional couplers (DRC) 2 and 3 are used to combine the signal with and separate it from the high RF power for the TF measurement. DRC1 is given to monitor the incident RF power using the PM2. This setup allows us to measure the filter response during high power application. Leakage of the RF high power to the VNA shall be below an upper limit for incident RF power defined in the VNA specification. The coupling strength of DRCs, defined by transmission between main and secondary paths, shall be chosen to limit the leakage, a downside of which is the deterioration of the signal-to-noise ratio (SNR) of the VNA measurement. The TF is determined by frequent evaluation of the device's transmission characteristic by the VNA, and is considered reached when relevant specification parameters exceed the limits defined in the product specification or application limits. Performance changes related to the accelerated life time testing, i.e., changes to the chip temperature

potentially significantly exceeding the value to be expected at specified life-time power levels, shall be considered in the evaluation of the device's high-power performance measurement.

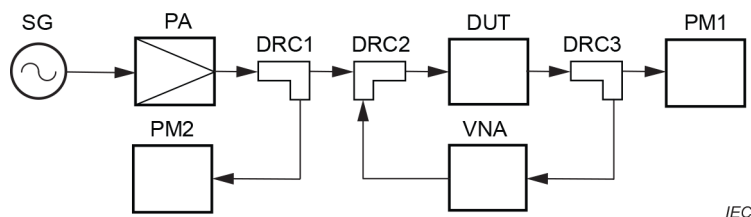


Figure 11 – Setup for TF measurement including filter response monitoring

Figure 12 shows another practical setup for the TF measurement. It uses RF switches instead of DRCs. Three switches change the configuration to two states: (a) high RF power irradiation for the TF measurement, and (b) VNA measurement of DUT response and PM measurement of PA output. The duration of the state (b) shall be minimized so that variation of the chip temperature is small. The TF is determined in the same manner as in the test setup described in Figure 11.

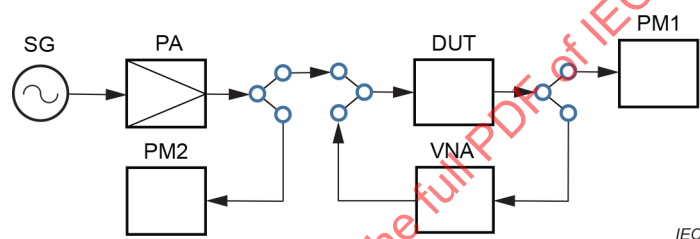


Figure 12 – Another setup for TF measurement including filter response monitoring

Although the chip temperature and incident RF power are stresses for the accelerated life time testing, they may be different from the TSC setting and PM reading. Thus, the TSC and the SG shall be externally adjustable for computer control.

Accessories such as cables and printed circuit boards (PCBs) shall be chosen properly so as not to be damaged during the high temperature testing. Even if not damaged, they may exhibit increased insertion attenuation which shall be compensated for by increasing the input RF power for the TF measurement.

The PCB (and possibly accompanying matching elements) shall be electrically and thermally compatible with the target system. Forced convection in the TSC is recommended.

5.2 Measurement procedure

Prior to the measurement, techniques shall be established for estimating (a) the difference between the PM reading and the incident RF power, (b) the difference between the TSC setting and chip temperature, and (c) amount of translation of the pass band according to temperature.

It is also necessary to determine in advance the frequency at which the RF power is given during the TF testing. If the weakest frequency is not known or not given in specifications, it should be determined experimentally by the TF measurement described in 5.3 and 5.4 for several frequencies in the pass band. Usually the RF SAW/BAW devices exhibit the shortest TF when the RF power is applied at either the upper or lower edge of the pass band. The pass band shape is stored at the highest operation temperature and the maximum RF power stated in the specification for compensation of the pass band translation.

Then the TF testing is performed for a significant number of samples covering a range of chip temperatures T and RF input power levels P , in order to determine a comprehensive life-time model of a device. In addition, the numbers of tested samples should be defined to account for expected TF variations. Key points listed in 4.3 shall be followed. For example, the difference between T and the TSC setting and that between P and the PM reading shall be compensated. Excess variation of the filter response shall also be compensated during the temperature acceleration testing.

5.3 Life time estimation

When the measured data exhibit linear variation of $\log_e(\text{TF})$ with respect to both $\log_e P$ and T^{-1} , we can determine α , β and E by fitting measured data into equation (5). Then equation (4) allows us to estimate the shortest TF under the normal operating condition. For the calculation, P shall be set at the maximum value given in the specification. On the other hand, T shall be set at the chip temperature when the maximum power is applied under the maximum environmental temperature, which is also given in the specification. Similarly, for a given desirable TF of a device, the maximum permissible power level P shall be determined considering the maximum permissible environmental temperature.

When the measured data exhibit nonlinear variation of $\log_e(\text{TF})$ with respect to either $\log_e P$ or T^{-1} , the data in nonlinear regions should be preferably excluded and only those in a linear region close to the normal operating condition should be used.

5.4 Measurement specifications

For the TF measurement of RF SAW/BAW devices, the following parameters shall be specified:

- a) DUT type and connectors;
- b) Circuit impedance (usually 50 Ω);
- c) Pass band frequency range;
- d) Operation temperature range;
- e) Intensity of RF signal applied. Indicate a particular DUT port where the input or output power is specified;
- f) Signal frequency (fixed at presumed worst case frequency or distributed over the pass band);
- g) Signal type (unmodulated or modulated), modulation scheme if necessary.

Bibliography

IEC 60862-1:2015, *Surface acoustic wave (SAW) filters of assessed quality – Part 1: Generic Specification*

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

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

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

IEC 62575-1:2015, *Radio frequency (RF) bulk acoustic wave (BAW) filters of assessed quality – Part 1: Generic specification*

IEC 62575-2:2012, *Radio frequency (RF) bulk acoustic wave (BAW) filters of assessed quality – Part 2: Guidelines for the use*

IEC 62604-1:2015, *Surface acoustic wave (SAW) and bulk acoustic wave (BAW) duplexers of assessed quality – Part 1: Generic specification*

IEC 62761:2014, *Guidelines for the measurement method of nonlinearity for surface acoustic wave (SAW) and bulk acoustic wave (BAW) devices in radio frequency (RF)*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63155:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
INTRODUCTION.....	25
1 Domaine d'application	26
2 Références normatives	26
3 Termes et définitions	26
3.1 Termes généraux.....	26
3.2 Termes relatifs à la durabilité.....	32
4 Propriétés de base de la durée de vie des appareils de radiofréquence à OAV et à OAS	32
4.1 Durée de vie et essai de vieillissement accéléré	32
4.2 Mécanismes de défaillance	34
4.2.1 Généralités.....	34
4.2.2 Acousto-migration.....	36
4.2.3 Autoéchauffement et emballement thermique	37
4.2.4 Autres mécanismes	37
4.3 Modélisation	37
5 Mesurage de la durée de vie	39
5.1 Configuration de mesure	39
5.2 Procédure de mesure.....	41
5.3 Estimation de la durée de vie	41
5.4 Spécifications de mesure	41
Bibliographie.....	42
Figure 1 – Configuration du FBAR	28
Figure 2 – Configuration du SMR	29
Figure 3 – Réponse en fréquence d'un filtre RF à OAS/OAV	29
Figure 4 – Courbe d'Arrhenius avec mise en œuvre de mécanismes multiples	33
Figure 5 – Structure d'un filtre en échelle.....	35
Figure 6 – Caractéristiques de transmission types d'un filtre en échelle	35
Figure 7 – Création de vides et de monticules.....	36
Figure 8 – Translation de la bande passante du filtre avec variation de température	38
Figure 9 – Configuration de base pour le mesurage de la TF dans une application de puissance de radiofréquence	39
Figure 10 – Configuration de base pour le mesurage de la TF d'un duplexeur à OAS/OAV.....	39
Figure 11 – Configuration pour le mesurage de la TF comprenant le contrôle de la réponse du filtre.....	40
Figure 12 – Autre configuration pour le mesurage de la TF comprenant le contrôle de la réponse du filtre	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

LIGNES DIRECTRICES RELATIVES À LA MÉTHODE DE MESURE DE LA DURABILITÉ DE PUISSANCE DES APPAREILS À ONDES ACOUSTIQUES DE SURFACE (OAS) ET DES APPAREILS À ONDES ACOUSTIQUES DE VOLUME (OAV) DANS LES APPLICATIONS DE RADIOFRÉQUENCE (RF)

AVANT-PROPOS

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

La présente Norme internationale IEC 63155 a été établie par le comité d'études 49 de l'IEC: Dispositifs piézoélectriques, diélectriques et électrostatiques et matériaux associés pour la détection, le choix et la commande de la fréquence.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
49/1339/FDIS	49/1342/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 internationale.

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous « <http://webstore.iec.ch> » dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63155:2020

INTRODUCTION

Les appareils de radiofréquence (RF) à ondes acoustiques de surface (OAS) et à ondes acoustiques de volume (OAV) sont désormais communément utilisés au sein de différents systèmes de communication en raison de leurs caractéristiques telles que leur petite taille, leur poids léger, une nécessité de réglage réduite, voire inexistante, ainsi qu'une stabilité et une fiabilité élevées.

L'une des applications majeures de ces appareils est le duplexeur d'antenne dans les appareils de communication mobiles. Il sépare les signaux récepteurs entrants (Rx) provenant des stations de base des signaux transmetteurs sortants (Tx) dans le domaine des fréquences. Il est établi que les vibrations acoustiques peuvent accélérer la destruction des métaux d'électrodes dans les transducteurs interdigités (TID) employés, ce qui entraîne une défaillance de l'appareil. Par conséquent, la durée de vie de l'appareil (durée de fonctionnement avant défaillance, TF – *time to failure*) dépend non seulement de la température de puce, mais aussi du niveau de puissance d'entrée et de la fréquence du signal de radiofréquence appliqué. Il convient de noter que la température de puce peut être légèrement différente de la température ambiante, car le niveau de puissance d'entrée des signaux transmetteurs dans les applications susmentionnées est d'environ 1 W au maximum et la génération de chaleur due à la consommation d'énergie n'est pas négligeable.

La durée de fonctionnement avant défaillance (TF) requise pour les duplexeurs à OAS et à OAV est généralement spécifiée par le niveau de puissance d'entrée, la plage de fréquence d'exposition et la température ambiante. Néanmoins, le mesurage de la TF selon des spécifications données n'est pas réaliste, car la TF est trop longue (cela peut prendre de nombreuses années). Les essais de vieillissement accéléré sont appliqués pour raccourcir la TF. La TF est mesurée dans des situations plus rigoureuses, à savoir une puissance et/ou une température ambiante plus élevées. Selon des spécifications données, la TF est estimée par une extrapolation fondée sur la loi d'Arrhenius comprenant la loi de puissance inverse. Bien que le modèle explique bien la variation de TF en ce qui concerne le niveau de puissance d'entrée et la température, il est nécessaire de déterminer les paramètres intervenant dans celui-ci de manière expérimentale et ses procédures n'ont pas été bien établies. Les méthodes de mesure sont donc spécifiquement établies pour estimer la TF des appareils de radiofréquence à OAS et à OAV.

Le présent document a été établi pour répondre à la demande générale des utilisateurs et des fabricants d'obtenir des informations générales quant aux recommandations des conditions d'essai des filtres RF à OAS et à OAV, afin que les filtres puissent être utilisés de manière optimale. À cette fin, le présent document explique les caractéristiques générales et fondamentales.

LIGNES DIRECTRICES RELATIVES À LA MÉTHODE DE MESURE DE LA DURABILITÉ DE PUISSANCE DES APPAREILS À ONDES ACOUSTIQUES DE SURFACE (OAS) ET DES APPAREILS À ONDES ACOUSTIQUES DE VOLUME (OAV) DANS LES APPLICATIONS DE RADIOFRÉQUENCE (RF)

1 Domaine d'application

Le présent document définit la méthode de mesure pour la détermination de la durabilité des appareils de radiofréquence (RF) à ondes acoustiques de surface (OAS) et à ondes acoustiques de volume (OAV), tels que les filtres et les duplexeurs, pour ce qui est des signaux RF de puissance élevée qui sont utilisés dans les télécommunications, les équipements de mesure, les systèmes radars et les produits de consommation. Les appareils RF à OAV sont de deux types: le premier se fonde sur la technologie du résonateur acoustique de volume de couche (FBAR, *film bulk acoustic resonator*), le second se fonde sur la technologie du résonateur monté solidement (SMR, *solidly mounted resonator*).

Le présent document inclut les propriétés de défaillance de base des appareils RF à OAS et à OAV et des lignes directrices afin de configurer le système de mesure et d'établir la procédure pour estimer la durée de fonctionnement avant défaillance (TF). La TF étant principalement régie par la puissance de radiofréquence appliquée dans les appareils, les études se concentrent sur la durabilité de puissance.

Le présent document n'est pas destiné à expliquer la partie théorique ni à traiter toutes les éventualités qui peuvent se produire dans la pratique. Il attire l'attention sur certaines des questions fondamentales que l'utilisateur a besoin de prendre en considération avant de commander un appareil de radiofréquence à OAS ou à OAV pour une nouvelle application. Cette procédure protège l'utilisateur contre des performances non satisfaisantes de l'appareil relatives à une défaillance prématurée causée par l'exposition de celui-ci à une puissance élevée.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

3.1 Termes généraux

3.1.1

OAV

onde acoustique de volume

onde acoustique qui se propage entre la surface inférieure et supérieure d'une structure piézoélectrique, puis qui traverse toute l'épaisseur du volume piézoélectrique

Note 1 à l'article: Les ondes sont excitées par des électrodes métalliques fixées des deux côtés de la couche piézoélectrique.

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.1]

3.1.2

filtre à OAV

filtre à onde acoustique de volume

filtre caractérisé par une onde acoustique de volume qui est habituellement générée par une paire d'électrodes et qui se propage le long d'une direction d'épaisseur

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.2]

3.1.3**fréquence de coupure**

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

[SOURCE: IEC 60862-1:2015, 3.1.2.4, modifiée – La référence à la Figure 1 a été supprimée.]

3.1.4**duplexeur**

dispositif utilisé dans le système duplex à répartition de fréquence, lui permettant de recevoir et d'émettre un signal simultanément par une antenne commune

[SOURCE: IEC 62761:2014, 3.1.5]

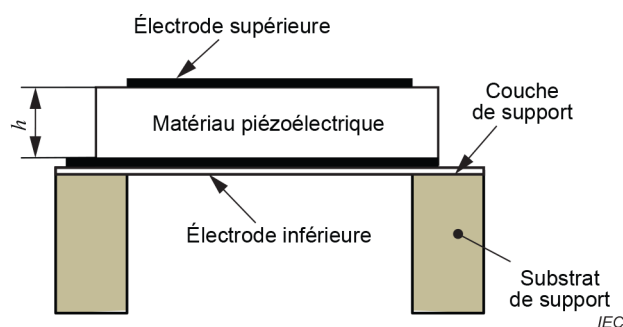
3.1.5**résonateur acoustique de volume de couche****FBAR**

résonateur OAV sur couche fine, composé d'une couche piézoélectrique placée entre deux couches d'électrodes avec surface supérieure et inférieure sans contrainte prise en charge mécaniquement au bord sur un substrat avec structure en cavité, comme représenté sur la Figure 1, ou une structure de membrane par exemple

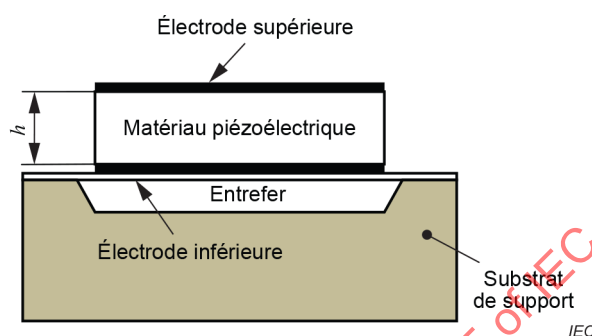
Note 1 à l'article: L'abréviation «FBAR» est dérivée du terme anglais développé correspondant «film bulk acoustic resonator».

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.3, modifiée – La Figure 1 c) a été ajoutée.]

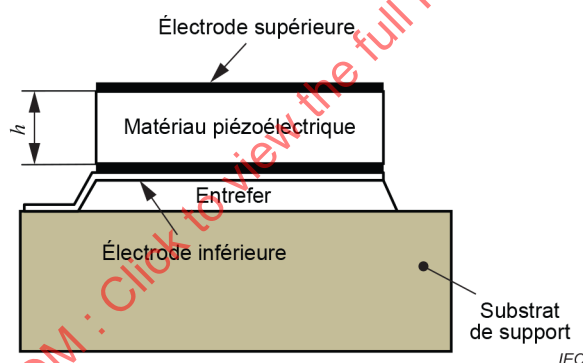
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63155:2020



a) Gravé à l'arrière



b) Gravé à l'avant



c) Gravé sur couche sacrificielle

Figure 1 – Configuration du FBAR

3.1.6 résonateur monté solidement SMR

résonateur OAV qui supporte la structure électrode/couche piézoélectrique/électrode avec une séquence de couches fines supplémentaires qui alternent des impédances acoustiques Z_a basses et hautes avec une couche d'un quart de longueur d'onde, ces couches servant de réflecteurs acoustiques et découplant le résonateur acoustiquement du substrat, tel que représenté sur la Figure 2 à titre d'exemple

Note 1 à l'article: L'abréviation «SMR» est dérivée du terme anglais développé correspondant «solidly mounted resonator».

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.4]

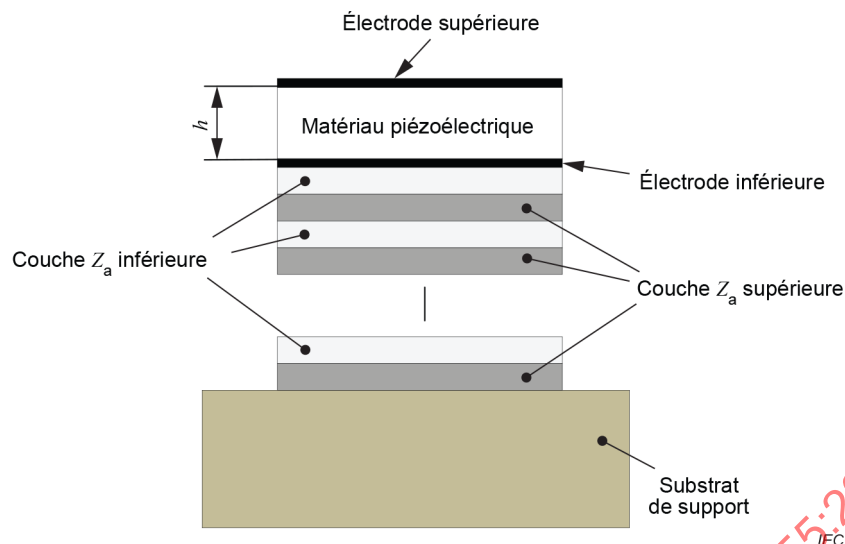


Figure 2 – Configuration du SMR

3.1.7

caractéristique de réponse

VOIR:

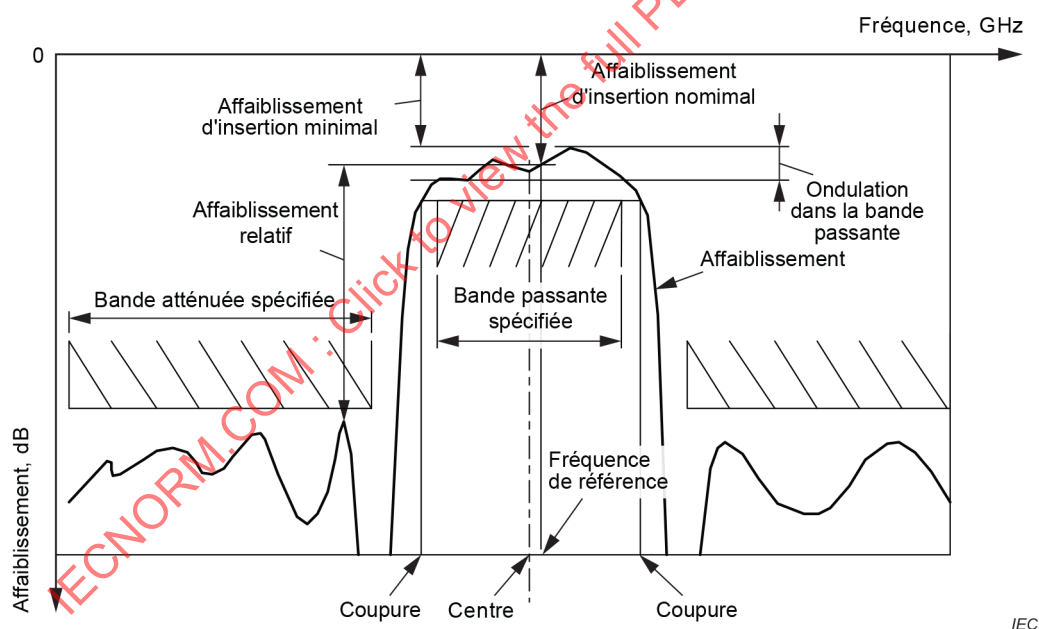


Figure 3 – Réponse en fréquence d'un filtre RF à OAS/OAV

3.1.8

impédance d'entrée

impédance présentée par le filtre/duplexeur à la source de signal lorsque la sortie est terminée par l'impédance de charge spécifiée

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.22, modifiée – « duplexeur » a été remplacé par « filtre/duplexeur ».]

3.1.9

niveau d'entrée

valeur de puissance, de tension ou de courant appliquée au port d'entrée d'un filtre/duplexeur

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.19, modifiée – « duplexeur » a été remplacé par « filtre/duplexeur ».]

3.1.10

affaiblissement d'insertion

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.2, modifiée – « duplexeur » a été remplacé par « filtre/duplexeur ».]

3.1.11

plage de températures de fonctionnement

plage de températures dans laquelle le filtre/duplexeur à OAS/OAV fonctionne en conservant ses caractéristiques spécifiées avec des tolérances spécifiées

[SOURCE: IEC 62575-1:2015, 3.1.16, modifiée – « filtre à OAV » a été remplacé par « filtre/duplexeur à OAS/OAV ».]

3.1.12

impédance de sortie

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.23, modifiée – « duplexeur » a été remplacé par « filtre/duplexeur ».]

3.1.13

niveau de sortie

valeur de puissance, de tension ou de courant fournie au circuit de charge

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.20]

3.1.14

bande passante

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.5]

3.1.15

largeur de bande passante

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

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.6]

3.1.16**réflectivité**

mesure sans dimension du degré de désadaptation entre les deux impédances Z_a et Z_b :

$$\frac{Z_a - Z_b}{Z_a + Z_b},$$

où Z_a et Z_b représentent, respectivement, l'impédance d'entrée et de source ou l'impédance de sortie et de charge

Note 1 à l'article: La valeur absolue de réflectivité est appelée le coefficient de réflexion.

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.2.17]

3.1.17**filtre Rx**

filtre utilisé dans une partie de récepteur pour éliminer les signaux inutiles ou non désirés

Note 1 à l'article: Le filtre Rx constitue une partie élémentaire d'un duplexeur.

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.3.4, modifiée – « RX » a été remplacé par « Rx » dans le terme, « /non désirés » a été ajouté à la définition et la Note 2 à l'article a été omise.]

3.1.18**filtre à OAS**

filtre caractérisé par une ou plusieurs lignes de transmission d'onde acoustique de surface ou éléments résonants, où l'onde acoustique de surface est généralement engendrée par un transducteur interdigité et se propage le long de la surface du matériau

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, 3.1.1.2, modifiée – Le terme « filtre d'onde acoustique de surface » a été omis.]

3.1.19**bande atténuée**

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

3.1.20**OAS****onde acoustique de surface**

onde acoustique se propageant le long de la surface d'un substrat élastique dont l'amplitude décroît exponentiellement suivant la profondeur dans le matériau

[SOURCE: IEC 60862-1:2015, 3.1.1.1]

3.1.21**filtre Tx**

filtre utilisé dans une partie de transmetteur pour éliminer les signaux inutiles ou non désirés

Note 1 à l'article: Il constitue une partie élémentaire d'un duplexeur.

[SOURCE: IEC 62604-1:2015, modifiée – « TX » a été remplacé par « Tx » dans le terme, « /non désirés » a été ajouté à la définition et la Note 2 à l'article a été omise.]

3.2 Termes relatifs à la durabilité

3.2.1

essai de vieillissement accéléré

méthode d'essai au cours de laquelle le technicien extrapole le comportement de défaillance d'un produit dans des conditions normales à partir de données de vie obtenues à des niveaux de contrainte accélérée

Note 1 à l'article: Les produits défaillant plus rapidement à des niveaux de contrainte élevés, ce type de méthode permet au technicien d'obtenir des informations sur la fiabilité d'un produit (par exemple, la durée de vie moyenne, la probabilité d'une panne à un moment spécifique, etc.) dans un laps de temps plus court.

3.2.2

facteur d'accélération

rapport entre la durée de vie d'un produit soumis à un niveau de contrainte en utilisation et sa durée de vie lorsqu'il est soumis à un niveau de contrainte accélérée

Note 1 à l'article: Par exemple, si le produit a une durée de vie de 100 h à un niveau de contrainte en utilisation et qu'il est soumis à l'essai à un niveau de contrainte accélérée réduisant sa durée de vie à 50 h, alors le facteur d'accélération est de 2.

3.2.3

loi d'Arrhenius

modèle utilisé dans les essais de vieillissement accéléré visant à établir un lien entre la température absolue et la fiabilité

Note 1 à l'article: Cette loi fut développée à l'origine par le chimiste suédois Svante Arrhenius afin de définir le lien entre la température et les vitesses de réaction chimique.

Note 2 à l'article: Il existe d'autres modèles mathématiques permettant de décrire le lien durée de vie - contrainte d'un produit, qui montre la manière dont le niveau de contrainte affecte la fiabilité d'un produit.

3.2.4

loi de puissance inverse

modèle d'essai de vieillissement accéléré utilisé couramment quand le facteur d'accélération est une seule contrainte non thermique (par exemple, la puissance, la vibration, la tension ou le cycle de température)

3.2.5

contrainte

facteur responsable de la défaillance, par exemple les températures de fonctionnement et de stockage, l'humidité, la puissance incidente, le rayonnement ultraviolet et les chocs mécaniques

3.2.6

essai sous contraintes

méthode d'essai au cours de laquelle les éléments sont soumis à l'essai et font l'objet de contraintes plus élevées que celles observées en conditions normales de fonctionnement et visant généralement à provoquer une défaillance

4 Propriétés de base de la durée de vie des appareils de radiofréquence à OAV et à OAS

4.1 Durée de vie et essai de vieillissement accéléré

De nombreux appareils à OAV et à OAS doivent répondre à la spécification des composants pendant un certain nombre d'années et dans des conditions normales de fonctionnement. La défaillance se définit comme une situation dans laquelle les performances deviennent inférieures à celles indiquées dans la spécification.

Pour ce faire, il est nécessaire d'estimer la durée de fonctionnement avant défaillance (TF – *time to failure*) dans un cas des plus contraignant dans des conditions normales de fonctionnement. Puisqu'il n'est pas envisageable pour les techniciens de passer des années à estimer la TF, une méthode appelée « essai de vieillissement accéléré » est communément adoptée. Avec cette méthode, la TF dans des conditions normales est estimée par extrapolation à partir de données obtenues dans des conditions de fonctionnement plus difficiles, ou en fonction du domaine de l'ingénierie de la fiabilité, à des niveaux de contrainte accélérée. Étant donné que les produits sont défaillants plus rapidement, cette méthode permet d'obtenir des informations quant à la fiabilité dans un laps de temps plus court.

Il existe de nombreux mécanismes de défaillance possibles, tels que l'oxydation, la fissure, la fuite et le décollement, ainsi que de nombreux emplacements où la défaillance peut se produire.

Lorsqu'un mécanisme de défaillance est dominant, il est établi que la TF présente la dépendance suivante à la température absolue T

$$TF = a \exp\left(\frac{E}{kT}\right), \quad (1)$$

où a est un facteur étudié ultérieurement, k est une constante de Boltzmann et E est un paramètre qui varie avec le mécanisme de défaillance. Cette dépendance identique à la dépendance à la réaction chimique s'appelle l'équation d'Arrhenius où E se réfère à l'énergie d'activation. En prenant les logarithmes pour les deux côtés, l'équation (1) peut être reformulée comme suit

$$\log_e TF = \frac{E}{kT} + \log_e a \quad (2)$$

Ainsi, le tracé de $\log_e TF$ par rapport à T^{-1} est une ligne droite et son gradient et son ordonnée à l'origine sont représentés par E/k et $\log_e a$, respectivement. Cette représentation s'appelle la courbe d'Arrhenius.

Quand de multiples mécanismes interviennent, la courbe d'Arrhenius peut représenter une ligne polygonale, comme cela est représenté à la Figure 4. Ceci s'explique par le fait que différents mécanismes possèdent différentes énergies d'activation et que la défaillance est déclenchée à partir du point le plus faible, qui peut varier avec la température.

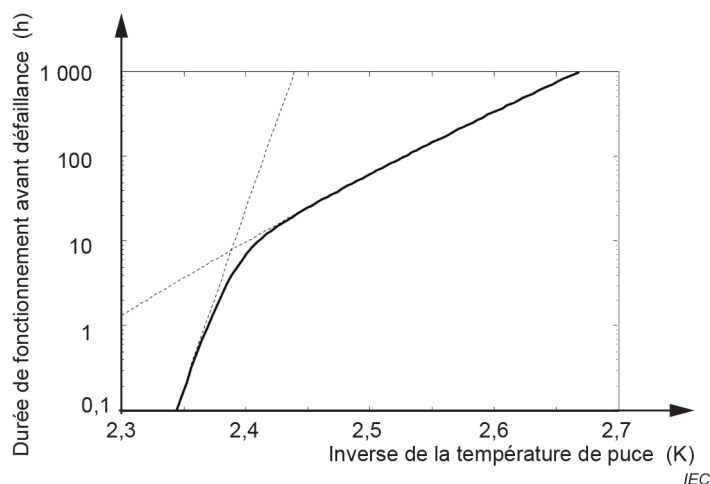


Figure 4 – Courbe d'Arrhenius avec mise en œuvre de mécanismes multiples

Le facteur a dépend d'autres contraintes telles que la puissance électrique appliquée, l'humidité et, dans de nombreux cas, sa dépendance sur chaque contrainte x répond à la loi de puissance inverse donnée par

$$a = \alpha x^{-\beta}, \quad (3)$$

où α et β sont des constantes. La combinaison des équations (1) et (3) donne

$$TF = \alpha x^{-\beta} \exp\left(\frac{E}{kT}\right), \quad (4)$$

et sa forme logarithmique est donnée par

$$\log_e TF = \log_e \alpha - \beta \log_e x + \frac{E}{kT}. \quad (5)$$

Il est ainsi possible d'estimer α et β à partir du graphe log-log entre TF et x avec T fixe. Quand de multiples mécanismes interviennent, le graphe log-log peut être une ligne polygonale.

Il convient de noter que des contraintes telles que la puissance électrique appliquée peuvent affecter T en raison d'un réchauffement par puissance dissipée. Par conséquent, il convient que T soit contrôlée ou connue pour déterminer le modèle de durée de vie, même quand T n'est pas sélectionnée comme paramètre d'accélération.

4.2 Mécanismes de défaillance

4.2.1 Généralités

La disposition en échelle représentée à la Figure 5 est communément utilisée comme configuration des filtres RF à OAS et à OAV pour les applications de haute puissance.

Chaque résonateur possède deux types de résonances: la résonance en série (ou simplement résonance) pour laquelle l'impédance électrique devient extrêmement basse et la résonance parallèle (ou antirésonance) pour laquelle l'impédance devient extrêmement élevée. La fréquence donnant l'antirésonance f_a (appelée fréquence d'antirésonance) est légèrement plus élevée que celle donnant la résonance f_r (appelée fréquence de résonance). La différence répartie entre f_r et f_a est d'abord déterminée par la force de la piézoélectricité.

Quand la fréquence de résonance f_r des résonateurs R_s dans les branches en série, f_{rs} , est fixée à une valeur proche de la fréquence d'antirésonance f_a des résonateurs dans les branches en parallèle R_p , f_{ap} , la réponse de transmission représentée à la Figure 6 peut être obtenue. D'autre part, des encoches apparaissent au niveau de f_a de R_s , de f_{as} et de f_r de R_p , f_{rp} . Il est nécessaire d'enchaîner les différentes étapes afin d'atteindre une réjection hors bande suffisante en transigeant avec les autres performances telles que l'affaiblissement d'insertion et la largeur de bande passante répartie.

Le facteur de résonateurs Q détermine l'affaiblissement d'insertion et la pente des bords de la bande passante.