

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC STANDARD**

**Publication 368B**

**1975**

---

**Deuxième complément à la Publication 368 (1971)**

**Filtres piézoélectriques**

---

**Second supplement to Publication 368 (1971)**

**Piezoelectric filters**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

## Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement

## Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

## Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

## Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

## Revision of this publication

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

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**  
Published yearly

## Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

## Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

## Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC STANDARD**

**Publication 368B**

**1975**

---

**Deuxième complément à la Publication 368 (1971)**

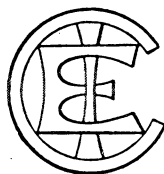
**Filtres piézoélectriques**

---

**Second supplement to Publication 368 (1971)**

**Piezoelectric filters**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

|                     | Pages |
|---------------------|-------|
| PRÉAMBULE . . . . . | 4     |
| PRÉFACE . . . . .   | 4     |

### CHAPITRE III: GUIDE D'EMPLOI DES FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

#### SECTION DEUX — LES FILTRES À CÉRAMIQUE PIÉZOÉLECTRIQUE

##### Articles

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 10. Domaine d'application . . . . .                               | 6  |
| 11. Introduction technique . . . . .                              | 6  |
| 12. Résonateurs céramique piézoélectrique pour filtres . . . . .  | 8  |
| 13. Caractéristiques fondamentales des filtres . . . . .          | 10 |
| 13.1 Caractéristiques générales . . . . .                         | 10 |
| 13.2 Utilisation et caractéristiques limites . . . . .            | 12 |
| 13.3 Niveau d'entrée . . . . .                                    | 16 |
| 13.4 Tension courant continu admissible . . . . .                 | 16 |
| 14. Remarques pratiques . . . . .                                 | 16 |
| 15. Méthodes de mesure . . . . .                                  | 16 |
| 16. Marquage . . . . .                                            | 18 |
| 17. Méthode pour la spécification d'un filtre céramique . . . . . | 18 |
| 18. Termes et définitions . . . . .                               | 20 |
| BIBLIOGRAPHIE . . . . .                                           | 22 |
| FIGURES . . . . .                                                 | 25 |

## CONTENTS

|                    | Page |
|--------------------|------|
| FOREWORD . . . . . | 5    |
| PREFACE . . . . .  | 5    |

### CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF PIEZOELECTRIC FILTERS

#### SECTION TWO — PIEZOELECTRIC CERAMIC FILTERS

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Clause                                                     |    |
| 10. Scope . . . . .                                        | 7  |
| 11. Technical introduction . . . . .                       | 7  |
| 12. Piezoelectric ceramic resonators for filters . . . . . | 9  |
| 13. Basic filter characteristics . . . . .                 | 11 |
| 13.1 General characteristics . . . . .                     | 11 |
| 13.2 Utilization and limitations . . . . .                 | 13 |
| 13.3 Input level . . . . .                                 | 17 |
| 13.4 Permissible d.c. voltage . . . . .                    | 17 |
| 14. Practical remarks . . . . .                            | 17 |
| 15. Measuring techniques . . . . .                         | 17 |
| 16. Marking . . . . .                                      | 19 |
| 17. Specification procedure for a ceramic filter . . . . . | 19 |
| 18. Terms and definitions . . . . .                        | 21 |
| BIBLIOGRAPHY . . . . .                                     | 22 |
| FIGURES . . . . .                                          | 25 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

DEUXIÈME COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 368 (1971)

Filtres piézoélectriques

---

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

La Publication 368A et la présente Publication 368B constituent respectivement la section un et la section deux du chapitre III de la Publication 368 de la CEI.

Un premier projet de cette section deux fut discuté lors de la réunion tenue à Paris en novembre 1971. A la suite de cette réunion, un nouveau projet, document 49(Bureau Central)73, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mai 1973.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| Allemagne             | Pays-Bas                |
| Argentine             | Pologne                 |
| Belgique              | Roumanie                |
| Canada                | Royaume-Uni             |
| Danemark              | Suisse                  |
| Etats-Unis d'Amérique | Turquie                 |
| France                | Union des Républiques   |
| Israël                | Socialistes Soviétiques |
| Italie                | Yougoslavie             |
| Japon                 |                         |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

SECOND SUPPLEMENT TO PUBLICATION 368 (1971)

Piezoelectric filters

---

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This publication has been prepared by IEC Technical Committee No. 49, Piezoelectric Devices for Frequency Control and Selection.

Publication 368A and this Publication 368B constitute Section One and Section Two respectively of Chapter III of IEC Publication 368.

A first draft of this Section Two was discussed at the meeting held in Paris in November 1971. As a result of this meeting, a new draft, document 49(Central Office)73, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in May 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Argentina  
Belgium  
Canada  
Denmark  
France  
Germany  
Israel  
Italy  
Japan  
Netherlands

Poland  
Romania  
Switzerland  
Turkey  
Union of Soviet  
Socialist Republics  
United Kingdom  
United States of America  
Yugoslavia

## DEUXIÈME COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 368 (1971)

### Filtres piézoélectriques

#### CHAPITRE III: GUIDE D'EMPLOI DES FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

##### SECTION DEUX — LES FILTRES À CÉRAMIQUE PIÉZOÉLECTRIQUE

###### 10. Domaine d'application

A la suite des progrès dans les recherches et le développement des matériaux en céramique piézoélectrique stables, une nouvelle branche très prometteuse est apparue dans la construction des filtres miniaturés et économiques utilisant des résonateurs à céramique piézoélectrique (appelés aussi « résonateurs céramique »).

La disponibilité de résonateurs céramique ayant un facteur de couplage élevé, un facteur de surtension élevé et une stabilité satisfaisante ont favorisé la construction d'un filtre à céramique qui peut être utilisé comme variante des filtres LC classiques, des filtres mécaniques et pour de nouvelles applications.

Les filtres à céramique piézoélectrique (appelés ci-après « filtres céramique ») sont à présent largement utilisés en communication (dans les amplificateurs de fréquence intermédiaire des récepteurs de trafic), dans l'appareillage pour la formation d'un groupe de fréquences de référence, en télémesure et pour les appareils de mesure, ainsi que pour les amplificateurs de fréquence intermédiaire des récepteurs de radiodiffusion. Bien que les spécifications pour ces filtres soient très diverses, la plupart des besoins peuvent être satisfaits par un petit nombre de types de filtres céramique normalisés.

Le domaine d'application de cette publication se limite aux filtres passe-bande passifs fonctionnant dans la gamme des fréquences allant de quelques kHz à plus de 10 MHz et qui sont disponibles dans le commerce en tant que dispositifs séparés et indépendants. Ne sont pas considérés ici les filtres intégrés dans des systèmes plus complexes. Ce guide se limite aux filtres quadripolaires utilisant des éléments linéaires passifs. Le but de cette publication abrégée n'est pas de développer des notions théoriques, ni d'essayer de couvrir tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique. Ce guide n'a été rédigé que pour attirer l'attention sur quelques-uns des problèmes fondamentaux que l'utilisateur devrait examiner avant de commander un filtre pour une nouvelle application. Une telle façon de procéder lui éviterait à coup sûr tout fonctionnement défectueux.

Les feuilles particulières normalisées, telles que celles de la publication de la CEI, dont ce guide fait partie, ainsi que les spécifications nationales ou les feuilles de caractéristiques publiées par les constructeurs, détermineront les combinaisons possibles de fréquence de référence, de largeur de bande passante, d'ondulation, de facteur de forme, d'impédance de charge, etc. Ces feuilles particulières sont établies pour couvrir une large gamme de filtres céramique possédant des caractéristiques normalisées. On ne saurait trop insister sur le fait que l'utilisateur devrait, partout où cela est possible, choisir ses filtres céramique à partir de ces feuilles particulières, même si cela peut l'amener à apporter de légères modifications à son circuit pour permettre l'emploi de filtres normalisés. Cela est particulièrement le cas pour la sélection de la fréquence de référence.

Contrairement aux filtres classiques LC, les filtres céramique, comme les filtres à quartz, offrent des avantages substantiels dans la construction et le prix de revient lorsque leurs fréquences de référence sont limitées à quelques gammes étroites de fréquences. Par conséquent, une commande qui ne spécifie pas une ou des fréquences de référence les plus utilisées habituellement peut être coûteuse.

Il faut comprendre que la normalisation n'est pas définitive, mais en évolution continuelle. Lorsque de nouveaux besoins se présentent, de nouvelles feuilles particulières sont élaborées pour satisfaire à ces besoins.

###### 11. Introduction technique

Il est du plus grand intérêt pour l'utilisateur que le filtre satisfasse à une spécification particulière. Le choix des réseaux internes des filtres et des résonateurs aptes à satisfaire à cette spécification doit être laissé au fabricant.

## SECOND SUPPLEMENT TO PUBLICATION 368 (1971)

### Piezoelectric filters

#### CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF PIEZOELECTRIC FILTERS

##### SECTION TWO — PIEZOELECTRIC CERAMIC FILTERS

###### 10. Scope

In accordance with the progress in research and development of stable piezoelectric ceramic materials a new, rather promising field has appeared in designing high quality, miniature and economical filters using piezoelectric ceramic resonators (also referred to as “ceramic resonators”).

The availability of ceramic resonators with a high coupling factor, high quality factor and a satisfactory stability has permitted a design of ceramic filter which can be used as alternatives to conventional LC filters, mechanical filters and for new applications.

Piezoelectric ceramic filters (hereafter referred to as “ceramic filters”) are at present widely used in communication (in the I.F. amplifiers of communication receivers), in equipment for forming a set of reference frequencies and also in telemetry and measurement application, as well as in the I.F. amplifiers of broadcast receivers. Although specifications for these filters are very diverse, many of the above needs can be served by a few standard types of ceramic filters.

The scope of this publication is limited to passive band-pass filters operating over the frequency range from a few kHz to more than 10 MHz which are commercially available as separate and independent units. Filters which are integrated into a larger system are not considered here. Filters considered in the guide are limited to two-port filters using passive linear elements. It is not the aim of this brief publication to explain theory, nor to attempt to cover all the eventualities which may arise in practical circumstances. This guide draws attention to some of the fundamental questions which should be considered by the user before he places an order for a filter for a new application. Such a procedure will be the user's insurance against unsatisfactory performance.

Standard article sheets, such as those of the IEC publication of which this guide forms a part, and national specifications or the data sheets issued by manufacturers will define the available combinations of reference frequency, pass bandwidth, ripple, shape factor, terminating impedance, etc. These sheets are compiled to include a wide range of ceramic filters with standardized performances. It cannot be overemphasized that the user should, wherever possible, select his ceramic filters from these sheets, when available, even if it may lead to making small modifications to his circuit to enable standard filters to be used. This is especially so in the case of the selection of the reference frequency.

In contrast to conventional LC filters, ceramic filters as well as crystal filters offer substantial advantages in design and production costs, when their reference frequencies are limited to a few narrow frequency ranges. Hence, an order which does not specify one of the more commonly used reference frequencies may be uneconomical.

It should be understood that standardization is not a fixed, but rather a continuing process. As new requirements arise, new article sheets are prepared to meet these requirements.

###### 11. Technical introduction

It is of prime interest to a user that the filter characteristics should satisfy a particular specification. The selection of internal filter and resonator networks to meet that specification should be at the option of the manufacturer.

Les caractéristiques amplitude-fréquence du filtre s'expriment habituellement par l'atténuation de transmission en fonction de la fréquence, comme l'indique la figure 1, page 25. Une méthode normalisée de mesure de l'atténuation de transmission est décrite à l'article 15. Dans certaines applications, les caractéristiques telles que la réponse de transition ou le retard de groupe sont plus importantes que l'atténuation de transmission. Ces caractéristiques spéciales ne sont pas examinées ici.

Les caractéristiques de l'atténuation de transmission sont, en plus, spécifiées par la fréquence de référence, l'atténuation de transmission minimale, l'ondulation dans la bande passante et le facteur de forme, dont les valeurs normalisées à l'étude seront données dans la Publication 368 de la CEI. La spécification doit être satisfaite entre les températures minimale et maximale de la gamme de températures de fonctionnement spécifiée. Cette condition doit être aussi remplie avant et après les essais d'environnement. Dans certains cas, en particulier pour les filtres destinés aux récepteurs de radiodiffusion, la variation maximale des caractéristiques dans la gamme de températures donnée peut être spécifiée.

## 12. Résonateurs céramique piézoélectrique pour filtres

Voici une description brève des résonateurs céramique permettant à l'utilisateur de comprendre les possibilités et les limites de construction des filtres céramique, imposées par les caractéristiques des résonateurs. Dans un filtre conventionnel, les inductances et les condensateurs sont utilisés comme éléments réactifs. Les pertes inévitables inhérentes aux composants réels produisent un double effet sur les caractéristiques d'un filtre. Premièrement, elles augmentent l'atténuation de transmission qui devient alors finie au lieu d'être nulle dans la bande passante. Deuxièmement, ce qui est plus grave, elles peuvent dégrader la finesse de la caractéristique de transmission au voisinage de la fréquence de coupure. Le second effet dépend principalement du facteur de surtension des composants, alors que le premier effet dépend, entre autres, de la valeur absolue des pertes.

Comme il sera précisé plus loin, un résonateur céramique est équivalent à une combinaison d'éléments réactifs ayant un facteur de surtension ( $Q$ ) plusieurs fois supérieur à celui des inductances conventionnelles. Les filtres céramique pour une largeur de bande relative égale ont une atténuation de transmission et un facteur de forme situés entre ceux des filtres à quartz et ceux des filtres LC. La figure 2, page 26, établit une comparaison caractéristique entre un filtre céramique, un filtre LC classique et un filtre à quartz, ces trois filtres ayant des bandes passantes similaires. On peut voir sur cette figure que la performance intermédiaire entre celle des filtres à quartz et des filtres LC classiques est atteinte par les filtres céramique. Cependant, les principaux avantages que l'on retire en réalisant un filtre avec des résonateurs céramique consistent en des dimensions et un poids beaucoup plus petits.

Les caractéristiques électriques d'un résonateur céramique utilisé dans un filtre peuvent être représentées par le circuit équivalent de la figure 3(a), page 27. Il consiste en une capacité  $C_D$  mise en parallèle par un nombre de branches parallèles composées d'une inductance, d'une capacité et d'une résistance dynamiques équivalentes en série, chaque branche ayant une résonance à des fréquences définies. A proximité immédiate d'une résonance, un circuit équivalent simplifié, tel que celui représenté à la figure 3(b), page 27, composé d'une capacité parallèle  $C_0$  et d'une seule branche dynamique, peut être utilisé. Cependant la capacité  $C_0$  dépend de la fréquence parce que non seulement la capacité  $C_D$  mais aussi l'effet des autres branches dynamiques est incorporé. Par conséquent, le circuit équivalent simplifié peut ne pas être assez précis pour représenter certaines caractéristiques d'un résonateur telles que l'antirésonance.

D'autres paramètres convenant à la description des caractéristiques d'un résonateur céramique sont la fréquence de résonance série  $f_s$ , la fréquence de résonance parallèle  $f_p$ , le facteur de surtension mécanique  $Q_m$  et l'espacement relatif des fréquences  $B_s$ . Leurs relations générales avec les paramètres d'un circuit équivalent, valables pour chaque circuit résonant, sont aussi données par la figure 3, page 27. Cependant, l'expression pour  $f_p$  est omise car trop complexe.

Le facteur de surtension et la stabilité en fréquence des résonateurs limitent la largeur de la bande passante minimale possible dans un filtre céramique, alors que l'espacement relatif des fréquences détermine la largeur de la bande passante maximale possible. Par exemple, la bande passante partielle la plus large qui peut être obtenue est inférieure à  $B_s$  pour le filtre en échelle composé de résonateurs céramique et de condensateurs et elle est inférieure à  $B_s$  ou  $2B_s$  pour le filtre en treillis.

Le résonateur céramique vibre simultanément suivant un grand nombre de modes du fait qu'il a une structure mécanique répartie. Les modes indésirables qui ont lieu à proximité du mode principal peuvent perturber les caractéristiques des filtres. De tels modes indésirables pourraient être affaiblis au-dessous d'un certain niveau ou déplacés jusqu'à des fréquences sans importance; cela peut être difficile à obtenir dans le cas de filtres ayant une large bande passante. Pour l'affaiblissement des modes indésirables, il est nécessaire de choisir soigneusement la configuration et les dimensions linéaires des résonateurs, la forme des électrodes, le montage, etc. Les dimensions linéaires doivent

The amplitude versus frequency characteristics of a filter are usually expressed in terms of transducer attenuation as a function of frequency, as shown in Figure 1, page 25. A standard method for measuring transducer attenuation is described in Clause 15. In some applications, such characteristics as transient response or group delay are more important than transducer attenuation. But these special characteristics are not considered here.

Transducer attenuation characteristics are further specified by reference frequency, minimum transducer attenuation, pass-band ripple and shape factor, of which standard values (under consideration) will be given in IEC Publication 368. The specification is to be satisfied between the lowest and the highest temperature of the specified operating temperature range. This condition shall also be satisfied before and after the environmental tests. In some cases, particularly for filters for broadcast receivers, the maximum variation of characteristics over a given temperature range may be specified.

## 12. Piezoelectric ceramic resonators for filters

A brief description of ceramic resonators is included here, so that a user may understand the feasibility and the limitation in the design of ceramic filters due to the characteristics of resonators. In a conventional filter, inductors and capacitors are used as reactive elements. The inevitable losses associated with actual components yield twofold effects on filter characteristics. Firstly, they will add to the transducer attenuation which then becomes finite instead of zero in the pass-band. Secondly and which is more serious, the sharpness of the attenuation characteristic near the cut off frequency may be spoiled. The second effect mostly depends on the  $Q$  of components, whereas the first effect depends, among other things, on absolute values of losses.

As will be described below, a ceramic resonator is equivalent to a combination of reactive elements with a quality factor ( $Q$ ) which is several times better than the  $Q$  of conventional inductors. Ceramic filters for equal relative bandwidth have transducer attenuation and shape factor between those of quartz and LC filters. Figure 2, page 26, shows a typical comparison of a ceramic filter with a conventional LC and a quartz crystal filter which are designed to have similar pass-bands. It can be seen from the drawing that performance intermediate between quartz crystal filters and conventional LC filters is achieved by the ceramic filters. The main advantages of using the ceramic resonators in a filter, however, are in obtaining much smaller size and lighter weight.

Electrical characteristics of a ceramic resonator used in a filter can be represented by the equivalent circuit shown in Figure 3(a), page 27. It consists of a capacitance  $C_D$  shunted by a number of parallel arms, consisting of equivalent motional inductance, capacitance and resistance in series, each of the arms having a resonance at definite frequencies. In the very vicinity of a resonance, a simplified equivalent circuit shown in Figure 3(b), page 27 which consists of a parallel capacitance  $C_0$  and only one motional arm, may be used. The capacitance  $C_0$ , however, is frequency-dependent, because not only the capacitance  $C_D$  but also the effect of other motional arms is included. Hence, the simplified equivalent circuit may not be accurate enough to represent such characteristics of a resonator as antiresonance.

Other convenient parameters for describing characteristics of a ceramic resonator are the series resonance frequency  $f_s$ , the parallel resonance frequency  $f_p$ , the mechanical quality factor  $Q_m$  and the relative frequency spacing  $B_s$ . Their general relationships with equivalent circuit parameters valid for every resonant circuit are also given in Figure 3, page 27. The expression for  $f_p$ , however, is omitted, because of its complexity.

The quality factor and frequency stability of resonators limit the minimum pass bandwidth available in a ceramic filter, whereas the relative frequency spacing governs the maximum available pass bandwidth. For example, the maximum fractional bandwidth available is smaller than  $B_s$  for a ladder filter consisting of ceramic resonators and capacitors and smaller than  $B_s$  or  $2B_s$  for a lattice filter.

A ceramic resonator vibrates in many modes simultaneously as it utilizes a distributed mechanical structure. The unwanted modes in the vicinity of the main mode may disturb the filter characteristics. Such unwanted modes might be suppressed below a certain level or shifted to unimportant frequencies, but this might be difficult to achieve in filters having a wide pass-band. For suppressing unwanted modes, it is necessary to choose carefully the configuration, and linear dimensions of resonators, the shape of the electrodes and their mounting, etc. The linear dimensions should be so chosen that unwanted modes of vibration will not fall into the relevant frequency range. With a ceramic

être choisies de telle façon que les modes indésirables de vibration ne soient pas dans la gamme de fréquences intéressée. Dans le cas d'un résonateur céramique pour filtre, il est, en plus, nécessaire de spécifier tous les paramètres de réactance. Pour autant que ceux-ci dépendent aussi des dimensions du résonateur, de la forme et de la position des électrodes, des limitations sont imposées sur la gamme des paramètres possibles pour chaque fréquence particulière, ces limites étant moins sévères que celles applicables à un résonateur pour filtre à quartz.

Les valeurs de la gamme des inductances équivalentes possibles à une fréquence particulière pour les résonateurs fonctionnant en mode radial sont approximativement dans le rapport 8 : 1 ; pour les résonateurs à haute fréquence fonctionnant en mode d'épaisseur, ce rapport peut être supérieur à 3 : 1, ce qui impose des limitations sévères à la construction des filtres céramique.

Les résonateurs céramique diffèrent des résonateurs à quartz par de larges valeurs de l'espacement relatif entre résonances qui peut atteindre 15 % dans le cas des modifications du titanate-zirconate de plomb. Grâce à cette propriété, les filtres piézoélectriques utilisant des résonateurs céramique peuvent être construits avec une bande passante suffisamment large sans utiliser d'éléments additionnels. Le deuxième avantage des résonateurs céramique, qui permet de construire les réseaux de filtres en échelle à partir de résonateurs seulement, est dû aux grandes valeurs de la capacité parallèle. La petite valeur des inductances équivalentes des résonateurs céramique (mH) est aussi un avantage lorsqu'ils sont utilisés dans les filtres pour circuits à transistors car les valeurs de résistance caractéristique des filtres sont obtenues de telle façon qu'elles coïncident bien avec les résistances de sortie des circuits en question.

Un résonateur ayant plus d'une paire d'électrodes est parfois utilisé dans un filtre ; par exemple, les résonateurs à électrodes annulaires et ponctuelles sont utilisés pour le couplage entre étages dans les filtres à fréquence intermédiaire des postes radiophoniques. Il y a aussi des résonateurs utilisant plus d'un mode de vibration principal.

Dans un résonateur céramique à haute fréquence ayant des électrodes partielles, de dimensions et de masse spécifiques, on peut « piéger » et maintenir l'énergie vibratoire sous l'électrode et à son voisinage immédiat. Un filtre électromécanique piézoélectrique peut être obtenu en utilisant le couplage acoustique mutuel entre plusieurs régions pourvues d'électrodes. On peut ainsi obtenir un filtre complet sous une forme monolithique ou intégrée.

Bien que ces filtres à mode couplé offrent certains avantages sur les filtres à mode indépendant, ils introduisent peu de changements fondamentaux dans les possibilités de réalisation et les limites des filtres céramique.

### 13. Caractéristiques fondamentales des filtres

#### 13.1 Caractéristiques générales

Ce qui suit est un résumé des caractéristiques de types particuliers de filtres utilisant des éléments linéaires passifs. Certaines applications typiques sont exposées ci-après.

##### 13.1.1 Filtres à fréquence intermédiaire pour récepteurs à transistors

Ces filtres pour fréquences comprises entre 440 kHz et 480 kHz sont le plus largement utilisés. Les filtres à fréquence intermédiaire sont fabriqués avec des circuits différents et selon des conceptions différentes allant du simple circuit de couplage entre étages aux filtres en échelles à sections multiples.

La bande passante (à 6 dB) sera située entre 6 kHz et 50 kHz. Le volume possible de tels filtres peut être inférieur à 1 cm<sup>3</sup>.

L'exemple des caractéristiques d'un filtre donnant une atténuation de 6 dB pour une bande passante de 8 kHz et une atténuation de 60 dB pour une bande passante de 20 kHz, avec des impédances de charge de 1200  $\Omega$  et 600  $\Omega$  est donné à la figure 4a, page 28.

La figure 4b, page 29, donne les caractéristiques d'un filtre pour fréquence intermédiaire utilisant des résonateurs à électrodes annulaires et ponctuelles avec des charges différentes à l'entrée et à la sortie.

##### 13.1.2 Filtres pour la fréquence intermédiaire de 10,7 MHz

L'exemple d'une caractéristique de ce filtre est donné à la figure 5, page 30.

La bande passante doit être assez large pour recevoir l'information acoustique sur la fréquence porteuse compte tenu des conditions de variation de la température et des erreurs, non seulement sur la fréquence de l'oscillation de l'émetteur mais aussi sur celle du récepteur. Les erreurs permises sur ces fréquences sont habituellement fixées par les feuilles particulières correspondantes.

Les atténuations dans la bande atténuée et dans la bande de transition sont déterminées par la position du canal suivant et par sa stabilité en fréquence en combinaison avec le spectre de fréquence dû à la modulation du