

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

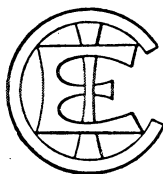
1975

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 Varembe

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 cm³.

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 Ω et 600 Ω 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

resonator for a filter, it is further required that all the reactance parameters be specified. So far as the latter depend also on the resonator dimensions, the shape and location of electrodes, limitations are imposed on the range of feasible parameters for every particular frequency, the limits being less severe than those applicable to a quartz filter resonator.

The range of available equivalent inductances at a particular frequency for radial mode resonators is about 8 : 1 and for high-frequency resonators with thickness modes this may exceed 3 : 1. This imposes strict limitations on the design of ceramic filters.

Ceramic resonators differ from the crystal units by large values of the relative resonance spacing which can amount in the case of lead zirconate - lead titanate modifications up to 15%. As a result of this feature, piezoelectric filters using ceramic resonators can be designed with a sufficiently large bandwidth without using added elements. The second advantage of ceramic resonators, which allows the design of ladder filter networks consisting of resonators only, is the large values of shunt capacitance. The small value of equivalent inductances of ceramic resonators (mH units) is also an advantage when using them in filters for transistor circuits, because the characteristic resistance value of filters is obtained in such a way as to match the output resistances of the above-mentioned circuits.

A resonator with more than one pair of electrodes is sometimes used in a filter, e.g. a ring and dot resonator is used for interstage coupling in I.F. filters of radio sets. There are also resonators utilizing more than one main mode of vibration.

In high-frequency ceramic resonators having partial electrodes, with specific dimensions and mass, the vibration energy can be "trapped" and maintained under the electrode and in the immediate surrounding. A piezoelectric mechanical filter can be realized by utilizing mutual acoustic coupling between several regions provided with electrodes. Thus a complete filter can be obtained in monolithic or integrated form.

Although such coupled-mode filters offer some advantages over independent mode filters, they introduce little fundamental change in the feasibility and the limitations of ceramic filters.

13. Basic filter characteristics

13.1 General characteristics

The following is a brief review of the characteristics of individual types of filters using passive linear elements. Some typical applications follow.

13.1.1 I.F. filters for transistor sets

These filters for frequencies between 440 kHz and 480 kHz are the most widely used production units. I.F. filters are manufactured in different circuits and designs, ranging from a simple interstage coupling circuit to a multiple section ladder type filter.

The pass bandwidth (at 6 dB) will lie between 6 kHz and 50 kHz. The possible volume of such filters may be less than 1 cm³.

An example of a filter characteristic with 6 dB at 8 kHz bandwidth and with 60 dB at 20 kHz bandwidth, with terminating impedance of 1 200 Ω and 600 Ω , is given in Figure 4a, page 28.

Figure 4b, page 29, gives the characteristics of an I.F. filter using resonators with ring and dot electrodes with varying terminations at the input and the output.

13.1.2 I.F. filters for 10.7 MHz

An example of such a filter characteristic is given in Figure 5, page 30.

Pass bandwidth should be wide enough to receive audio information on the carrier under conditions of varying temperature and errors in both transmitter and receiver frequencies. The permissible errors of these frequencies are normally laid down in the corresponding article sheets.

Stop-band and transition-band attenuations are determined by the position of the next channel and its frequency stability together with the frequency spectrum produced by its superimposed signal modulation. Adequacy of

signal superposé. La bonne qualité de la caractéristique d'un filtre peut être déterminée par l'essai avec deux signaux en examinant l'interférence et la diaphonie dans la voie désirée, causées par un signal dans un canal adjacent.

Des filtres particuliers sont conçus pour fonctionner dans des circuits transistorisés avec des charges allant de 100 à quelques milliers d'ohms. Il est nécessaire de s'assurer que les tolérances sur ces valeurs ne sont pas trop larges de façon à éviter les distorsions indésirables des caractéristiques dans la bande passante (l'ondulation) qui peuvent provoquer une distorsion et/ou une sensibilité inacceptable à certains parasites.

13.1.3 *Filtres pour fréquence intermédiaire de 4 MHz à 6 MHz*

A l'étude.

13.1.4 *Filtres pour récepteurs stéréophoniques multiplex*

Un certain nombre de filtres fonctionnant sur les fréquences de 15 kHz à 70 kHz sont exigés pour décoder les signaux stéréophoniques multiplex. Divers filtres céramique peuvent servir à cette application. La figure 6, page 31, montre les caractéristiques particulières d'un filtre céramique pour la sélection des fréquences pilotes.

13.1.5 *Filtres pour fréquences porteuses et pilotes utilisés dans les systèmes de téléphonie à fréquence porteuse*

Dans les systèmes à fréquence porteuse FDM, de nombreux filtres classiques LC, filtres à quartz et filtres mécaniques très complexes sont utilisés. Les matériaux disponibles à présent ne permettent pas d'utiliser largement les filtres céramique dans les systèmes à fréquence porteuse. Néanmoins, ils peuvent être utilisés (par exemple, dans la génération de la fréquence porteuse, dans la génération du signal, pour des fréquences auxiliaires). Pour la sélection des fréquences pilotes, une très grande stabilité au voisinage de la fréquence centrale est exigée. Dans la plupart des constructions, le circuit du filtre se compose de transformateurs d'entrée et de sortie, de quatre résonateurs arrangés en deux cellules de Jaumann (hybrides), de condensateurs et de résistances. Les résonateurs sont conçus pour la largeur de bande maximale, où, dans les filtres, la largeur de la bande est diminuée par des condensateurs plus stables (en température). Les réflexions de l'atténuation observées à la jonction des deux cellules de Jaumann (causées par les impédances différentes des sections du filtre en raison des tolérances sur L_1) peuvent être minimisées d'environ 1 dB par le réseau en π à résistances d'adaptation. La figure 7, page 32, montre les caractéristiques typiques d'un filtre pour la fréquence porteuse et la figure 8, page 33, donne la caractéristique de la fréquence de réponse d'un filtre pour la sélection des fréquences pilotes.

13.1.6 *Caractéristiques de réponse*

Pour les filtres dans lesquels la forme de la réponse en amplitude est importante, il existe des courbes de réponse théoriques telles que la courbe de Tchebichev, la courbe extra-platte (Butterworth), la réponse correspondant aux fonctions elliptiques, etc. Quand la caractéristique de phase est la plus importante, comme c'est le cas dans les systèmes de transmission numériques, il existe la réponse correspondant à une fonction gaussienne. La définition d'un filtre à partir de ces courbes de réponse n'est pas de bonne pratique car elles sont théoriques par nature, et les filtres rencontrés dans la pratique ne peuvent que s'approcher de la courbe de réponse idéale du fait de la dispersion des paramètres des résonateurs et en fonction des charges réelles, etc. Il faut aussi noter que, puisqu'il existe une relation entre les caractéristiques de phase et d'amplitude, il n'est pas possible d'obtenir ces deux caractéristiques de manière séparée.

13.2 *Utilisation et caractéristiques limites*

13.2.1 Des renseignements sur l'utilisation et les caractéristiques limites sont également donnés dans les paragraphes 13.1.1 à 13.1.6.

13.2.2 *Effet de la largeur de bande sur la fabrication des filtres passe-bande céramique*

Les contraintes imposées à la réalisation des filtres céramique par les paramètres possibles des résonateurs céramique affectent la gamme des caractéristiques possibles. La plupart des filtres céramique utilisés ont les caractéristiques de la bande passante. La figure 9, page 34, donne la largeur de la bande passante des filtres céramique en fonction de régions définies de la fréquence de référence. Ces bandes passantes peuvent être obtenues sans un travail de mise au point particulièrement difficile. Les valeurs données ne sont qu'un guide représentant ce qui est techniquement possible. La mise à disposition dans le commerce dépend de facteurs tels que la quantité, les conditions d'environnement, les dimensions, le prix, etc.

performance may be determined by a two-signal test which examines the interference and crosstalk on a wanted channel caused by a signal in the adjacent channel.

Typical filters are designed for operation in transistor circuits with terminations ranging from a hundred to a few thousand ohms. It is necessary to ensure that tolerances on the terminations are not too wide, to avoid undesirable distortions of characteristics in the pass-band (ripple), which may result in unacceptable distortion and/or sensitivity to interference.

13.1.3 *I.F. filters for 4 MHz to 6 MHz*

Under consideration.

13.1.4 *Filters for multiplex stereo receivers*

A number of filters ranging from 15 kHz to 70 kHz are required in decoding multiplex stereo signals. Various ceramic filters are available for this application. Figure 6, page 31, shows typical characteristics of a ceramic filter for pilot selection.

13.1.5 *Filters for carrier and pilot frequencies in carrier telephone systems*

In the FDM carrier frequency systems, many sophisticated LC, crystal or mechanical filters are used. The present available materials do not allow for a large use of ceramic filters in the field of carrier telephony. Nevertheless, some applications (e.g. carrier generation, signalling generation, auxiliary frequencies) can be found for the ceramic filter. For pilot selection, very stringent specification concerning the stability around the centre frequency is imposed. For most designs, the circuit of the filter consists of input and output transformers, four resonators arranged in two Jau-mann (hybrid) sections, capacitors and resistors. The resonators are designed for maximum bandwidth, where in the filters the bandwidth is diminished by more stable (in temperature) capacitors. The attenuation reflections observed at the junction of the two Jaumann sections (caused by the different impedances of the sections of the filter—due to the tolerances of L_1), could be minimized through resistor matching π network of about 1 dB. Figure 7, page 32, shows typical characteristics of carrier supply filter. Figure 8, page 33, gives the frequency response characteristic of a pilot selection filter.

13.1.6 *Response characteristics*

For filters where the form of the amplitude characteristics is important, there exist such theoretical response characteristics as the Chebyshev curve, the extra-flat curve (Butterworth), the elliptic function response, etc. Where the phase characteristic is more important, such as in digital transmission systems, there exists the Gaussian function response. It is not good practice to specify a filter in terms of these characteristics because they are theoretical in nature and in practice filters can only approximate the ideal response, due to the spread between the resonator parameters and according to the real terminations, etc. It should also be noted that, since there is a relationship between phase and amplitude characteristics, it is not possible to realize both characteristics independently.

13.2 *Utilization and limitations*

13.2.1 Information on utilization and limitations is also given in Sub-clauses 13.1.1 to 13.1.6.

13.2.2 *Effect of bandwidth on availability of ceramic band-pass filters*

The constraints imposed on the design of ceramic filters by the available parameters of ceramic resonators affect the range of available characteristics. Most ceramic filters used have band-pass characteristics. Figure 9, page 34, gives the pass bandwidth of ceramic filters versus definite reference frequency regions. These pass-bands can be made available without requiring critically difficult development work. The values given are a guide only to what is technically possible. Commercial availability depends on such factors as quantity, environmental requirements, size, cost, etc.

Les notes suivantes apportent des explications supplémentaires justifiant les raisons d'avoir des régions avec contraintes sur la largeur de bande passante possible d'un filtre.

a) *Problèmes relatifs au facteur de surtension et à la stabilité en fréquence*

La bande passante minimale des filtres céramique résulte de la stabilité en température et dans le temps des résonateurs céramique et de leur facteur de surtension.

Il est difficile de réaliser des filtres ayant une bande passante de 0,5 % car leur bande passante peut être comparée à l'écart de fréquence relatif causé par la température (0,2 %) et le vieillissement (0,2 %) (instabilité totale 0,4 %), et le facteur de surtension des résonateurs est insuffisant pour assurer aux filtres céramique, qui ont une bande relativement étroite, une atténuation de transmission minimale satisfaisante dans leur gamme de températures de fonctionnement.

L'application de tels filtres est limitée par les cas dans lesquels aucune exigence sévère n'est imposée ni aux bords de la bande passante d'un filtre ni à la stabilité de sa fréquence centrale, et où ces filtres peuvent donc être utilisés pour la séparation de fréquences discrètes (fréquence porteuse ou fréquence de référence).

b) *Limites dues à l'espacement relatif des fréquences des résonateurs céramique*

Les filtres ayant une bande passante excédant considérablement la limite supérieure, indiquée à la figure 9, ne peuvent pas être réalisables sans inductances additionnelles (bien qu'en principe ils soient disponibles dans les limites définies). De tels filtres n'étant pas largement utilisés, ils ne sont pas considérés dans ce guide.

13.2.3 *Limites de la performance de température*

Les filtres à bande étroite ont des caractéristiques de température qui sont sous la dépendance du coefficient de température des résonateurs et des condensateurs. En premier lieu, l'effet se fera sentir sur la variation de la fréquence centrale en fonction des variations de fréquence du résonateur.

La plupart des résonateurs n'ayant pas un coefficient de température linéaire, il peut être nécessaire de faire la mesure à un grand nombre de températures pour obtenir des données exactes. Dans le cas des bandes passantes étroites, les différences entre les caractéristiques de température des résonateurs dans le filtre peuvent provoquer des variations de la valeur de l'ondulation en fonction de la température.

La variation de la résistance équivalente d'un résonateur en fonction de la température influencera notablement l'atténuation de transmission minimale. Cela est important dans le cas des filtres de sélection des fréquences pilotes.

Pour des filtres à large bande, les principaux effets s'exerceront sur la forme de la bande passante en relation avec le coefficient de température des fréquences de résonance et d'antirésonance.

13.2.4 *Limites des performances en fonction de l'environnement*

Lorsque les filtres céramique ne sont pas fermés hermétiquement, il faut tenir compte spécialement des conditions d'environnement; le premier aspect est l'humidité et le second, les essais mécaniques.

Dans certains cas, les fils de montage des résonateurs sont raccordés rigidement et une contrainte externe excessive exercée sur ces fils peut détériorer les caractéristiques des filtres.

La résistance aux essais de chocs et de vibrations peut être fonction de la direction d'application de la force. Dans le cas où les exigences sont sévères, il peut être possible d'optimiser le résonateur du filtre en tenant compte de ces exigences.

13.2.5 *Normalisation*

Puisqu'il y a beaucoup plus de points de divergence possibles entre des filtres céramique différents qu'entre d'autres composants non constitués d'un assemblage d'éléments, il est impossible pour l'instant de normaliser les dimensions, la forme, la fréquence de référence et les autres caractéristiques des filtres.

Une certaine similitude existe entre différents filtres utilisés dans la première fréquence intermédiaire des équipements mobiles, qui est, par exemple, à 445 kHz ou 465 kHz. Cependant, des différences peuvent exister entre les produits de différents fabricants de filtres, en particulier pour les impédances de charge. De plus, les caractéristiques données par les fabricants peuvent différer pour une ou plusieurs des raisons suivantes:

Application

Certaines conditions spécifient qu'un filtre doit donner toute l'atténuation relative exigée, d'autres l'assurent par le groupe des sections composées de filtres séparés. Pour certaines applications, la dimension est primordiale,

The following notes amplify reasons for areas with constraints on filter bandwidth available.

a) *Q and frequency stability problems*

The minimum pass bandwidth of ceramic filters results from temperature and time stability of ceramic resonators, and from their quality factor.

Filters with 0.5% pass bandwidth are difficult to implement, because their pass-band is comparable to the relative frequency shift due to the temperature of 0.2% and ageing 0.2% (overall instability 0.4%); and the Q of resonators proves insufficient to guarantee a satisfactory minimum transducer attenuation over the operating temperature range for these, having relatively narrow (for ceramic) pass-band filters.

The application of such filters is limited by those cases where severe requirements are not imposed on the edges of the filter pass-band and the mid-band frequency stability, i.e. they can be used for separation of discrete (carrier or reference) frequencies.

b) *Limitations due to relative frequency spacing of ceramic resonators*

Filters with pass bandwidths greatly exceeding the upper boundaries shown in Figure 9 cannot be made available without added inductors (although in principle they are available within definite limits). Since such filters are not yet widely used, they are not considered in the present guide.

13.2.3 *Limitations on temperature performance*

Narrow band filters possess temperature characteristics which are dominated by the temperature coefficient of the resonators and the capacitors. To a first order, the effect is confined to a variation of the mid-band frequency in sympathy with the variations of resonator frequency.

Since most resonators do not have a linear temperature coefficient, measurement at a substantial number of temperatures may be necessary to obtain accurate data. For narrow bandwidths, differences in temperature characteristics of resonators within the filter may result in variations of ripple magnitude with temperature.

The variation of the equivalent resistance of a resonator with temperature will affect the minimum transducer attenuation considerably. This is important for pilot selection filters.

For wide band filters, the main effects will be upon pass-band shape depending on the temperature coefficient of resonance and antiresonance frequencies.

13.2.4 *Limitations on environmental performance*

When ceramic filters are not hermetically sealed, special consideration should be given to environmental aspects; the first aspect is moisture and the second, mechanical tests.

In some cases, mounting leads of resonators are rigidly connected and an excessive external stress on these leads may distort filter characteristics.

Resistance to shock and vibration tests may be a function of direction of force application. Where requirements are severe, it may be possible to optimize the filter resonator with this in mind.

13.2.5 *Standardization*

Since there are many more possible points of difference between various piezoelectric ceramic filters than between other components which do not consist of an assembly of elements, it is not possible at the present time to standardize size, shape, reference frequency and other filter characteristics.

Some degree of similarity does exist between various filters used in the first I.F. of mobile equipment which is at, for example, 445 kHz or 465 kHz. However, differences may exist between products of different filter suppliers with particular reference to terminating impedances. Furthermore, manufacturers' requirements may differ for one or more of the following reasons:

Application

Some requirements specify that a filter should provide all the relative attenuation required, others provide it by means of a stage set, consisting of separate filters. For some applications, size is critical, for example, for pocket sets,

par exemple, pour les récepteurs de poche, tandis que pour d'autres le prix de revient est essentiel. Certaines applications peuvent nécessiter des caractéristiques d'atténuation relative différentes.

Impédance

En général, les filtres sont conçus pour fonctionner entre des impédances de charge définies.

Stabilité de l'oscillateur local

La largeur de la bande passante exigée d'un filtre sera en partie déterminée par la stabilité de l'oscillateur local en combinaison avec toutes les dérives éventuelles de l'équipement.

13.3 Niveau d'entrée

La caractéristique du niveau d'entrée peut être limitée en raison des conditions suivantes:

13.3.1 Changement de la fréquence d'un résonateur céramique

Les niveaux maximaux auxquels le filtre est destiné à fonctionner doivent être spécifiés. Pour les bandes étroites, cela sera plus important que pour les filtres ayant une bande passante plus large du fait de la plus grande stabilité de fréquence exigée.

13.3.2 Distorsion des caractéristiques des résonateurs céramique

La distorsion des caractéristiques d'un filtre provoquée par un niveau d'entrée excessif peut subsister même après que le niveau a repris sa valeur normale.

Elle peut provenir de la fréquence du signal et de la charge incorrecte du filtre. La sensibilité aux niveaux d'excitation élevés dépendra fortement de la fréquence de résonance des éléments en céramique. Si les conditions normales sont satisfaisantes, les implications des essais ou d'autres conditions anormales, par exemple, ouverture du circuit du filtre aux bornes de sortie, doivent être prises en considération car cela peut amener une puissance beaucoup plus élevée au niveau du résonateur.

13.4 Tension courant continu admissible

La tension courant continu appliquée au résonateur céramique peut provoquer une modification permanente de la polarisation des céramiques et, par suite, des caractéristiques du résonateur. Un soin particulier doit être pris quand la tension courant continu est appliquée au filtre céramique. Même une faible tension telle que celle de la source d'alimentation des transistors peut être dangereuse pour le matériel.

14. Remarques pratiques

Il est nécessaire de prendre certaines précautions pour obtenir une caractéristique satisfaisante quand le filtre est inséré entre des circuits extérieurs, particulièrement entre des transistors.

Il est important que:

- 1) l'entrée et la sortie soient correctement chargées par les résistances spécifiées. A fréquence élevée, il est souvent exigé que les capacités parasites soient maintenues inférieures à des valeurs spécifiées ou parfois ajustées à certaines valeurs spécifiées. Des distorsions notables peuvent être observées dans la bande passante à cause de charges incorrectes;
- 2) le couplage parasite entre les bornes d'entrée et de sortie doit être maintenu minimal par une mise à la masse ou un blindage efficaces. Dans le cas contraire, on ne peut pas réaliser l'atténuation garantie dans la bande atténuée.

15. Méthodes de mesure

Les méthodes de mesure doivent être conformes au chapitre II, Conditions d'essais, de la Publication 368 de la CEI.

while for others, cost is dominant. Some applications may require different relative attenuation performance.

Impedance

In general, filters are designed to operate between specific terminating impedances.

Local oscillator stability

The pass bandwidth required of a filter will be partly determined by the local oscillator stability combined with any drift of the equipment.

13.3 *Input level*

Drive level performance may be limited by reason of:

13.3.1 *Ceramic resonator frequency change*

The maximum levels at which the filter is required to operate within limits should be stated. For narrow bandwidths this will be more important than for wider bandwidth filters, due to the greater frequency stability required.

13.3.2 *Ceramic resonator degrading*

Degrading in filter characteristics caused by excessive level of drive may remain even after the level has returned to a normal value.

This may be a function of signal frequency and whether the filter is correctly terminated. Sensitivity to high drive levels will be highly dependent on resonance frequency of the ceramic elements. If normal conditions are satisfactory, the implications of testing and other abnormal conditions such as the filter being open-circuited at the output terminals should be considered, since this could result in substantially greater power reaching the resonator.

13.4 *Permissible d.c. voltage*

A d.c. voltage applied to a ceramic resonator may cause a permanent change in the polarization of ceramics and hence in the resonator characteristics. Care must be exercised when a d.c. voltage is applied to a ceramic filter. Even such a small voltage as produced by power supplies for transistors may cause trouble.

14. **Practical remarks**

Certain precautions are required in order to obtain a satisfactory performance when the filter is inserted between outside circuits, especially transistors.

The following is important:

- 1) both input and output terminals of a filter should be properly terminated by specified resistances. At a high frequency, it is frequently required that stray capacitances are kept below specified values or sometimes are adjusted to certain specified values. Considerable distortions in the pass-band due to improper terminations can be observed;
- 2) stray coupling between input and output terminals should be kept to a minimum by proper grounding or shielding. Otherwise warranted attenuation in the stop-band may not be obtained.

15. **Measuring techniques**

The measuring techniques shall be in accordance with Chapter II: Test Conditions, of IEC Publication 368.

16. Marquage

Le marquage comprend le numéro de type, la fréquence de référence et la marque d'origine ainsi que toute autre indication supplémentaire facultative qui doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fabricant.

17. Méthode pour la spécification d'un filtre céramique

Lorsque les exigences peuvent être satisfaites par un filtre normalisé, il suffira de spécifier la feuille particulière correspondante.

Lorsque les exigences ne peuvent être complètement satisfaites d'après une feuille particulière existante, cette feuille doit être indiquée, ainsi que les différences connues.

Dans les cas où les différences sont telles qu'il n'est pas possible de se référer à une feuille particulière existante, il y aura lieu de préparer une nouvelle feuille particulière, similaire aux feuilles particulières normalisées.

La liste de contrôle suivante doit être utilisée pour la commande d'un filtre à céramique piézoélectrique et doit être prise en considération pendant l'élaboration d'une spécification:

Application

Description

Conditions électriques:

- fréquence de référence
- caractéristique de la bande passante
 - atténuation de transmission maximale
 - ondulation maximale
 - largeur de la bande passante
 - autres conditions
- atténuation relative dans la bande transitoire
- atténuation relative dans la bande atténuée
 - de à
- réponses indésirables
- impédances de charge
- niveau d'entrée maximal
- niveau d'entrée
- résistance d'isolement
- surexcitation par la tension du courant continu
- vieillissement
- autres conditions (par exemple, caractéristiques de phase, etc.)

Conditions d'environnement:

- gamme de températures
 - de fonctionnement
 - de stockage
- secousses
- chocs
- vibrations
- accélération

16. Marking

Marking includes type number, reference frequency and mark of origin with additional marking to be agreed upon between customer and manufacturer.

17. Specification procedure for a ceramic filter

When the requirements can be met by a standard item, it will be sufficient to specify the corresponding article sheet.

When the requirements cannot wholly be met by an existing article sheet, the article sheet should be quoted together with known differences.

In the case where the differences are such that it is not reasonable to quote an existing article sheet, a new sheet is to be prepared in a similar form to that already used for standard article sheets.

The following check list will be useful for ordering a piezoelectric ceramic filter and should be considered in drawing up a specification:

Application

Description

Electrical requirements:

- reference frequency
- pass-band characteristics
 - maximum transducer attenuation
 - maximum ripple
 - bandwidth
 - others
- transition-band relative attenuation
- stop-band relative attenuation
 - from..... to.....
- unwanted responses
- terminating impedances
- maximum input level
- input level
- insulation resistance
- d.c. voltage overdrive
- ageing
- others (e.g. phase characteristics, etc.)

Environmental requirements:

- temperature range
 - operating
 - storage
- bumping
- shock
- vibration
- acceleration

- humidité
- autres conditions (par exemple, étanchéité, cycles de température).

Conditions physiques:

- longueur
- largeur
- hauteur
- marquage
- bornes et accessoires de montage
- poids
- autres conditions (par exemple, soudure, etc.)

Conditions de mesures et d'essais:

- spécifications correspondantes
- autorité d'inspection
- niveaux de qualité acceptables
- essais de type
- autres conditions

Dans un filtre dissymétrique, il est recommandé de spécifier les conditions relatives à la bande atténuée et à la bande passante par référence à des fréquences précises plutôt que de définir les largeurs de bande dans les deux régions.

Il faut clairement indiquer dans la spécification si le filtre doit fonctionner sous des conditions de choc, de vibration ou d'accélération. Si tel est le cas, la possibilité de génération de bruit et sa limite acceptable doivent être considérées, mais cela concerne seulement les filtres basse fréquence.

18. Termes et définitions

A l'étude.

- humidity
- others (e.g. sealing, temperature cycling)

Physical requirements:

- length
- width
- height
- marking
- terminal and mounting accessories
- weight
- others (e.g. solderability, etc.)

Inspection requirements:

- related specifications
- inspection authority
- acceptable quality levels
- type tests
- others

In an unsymmetrical filter, it is recommended that the stop-band and pass-band requirements be specified with reference to precise frequencies rather than to quote bandwidths in both regions.

It should be clearly stated in the specification whether the filter is required to operate whilst under conditions of shock, vibration or acceleration. If it is, the possibility of noise generation and its acceptable limit should be considered, but is only of concern for lower-frequency filters.

18. Terms and definitions

Under consideration.

BIBLIOGRAPHIE — BIBLIOGRAPHY

Ouvrages — Books

1. E. Frid & S. Asarch: *Piezoelectric Ceramic Filters*, Publ. House « Energija », Moscow, 1967.
2. Mária Déri: *Ferroelectric Ceramics*, Publ. MacLaren and Sons Ltd., London, 1966.
3. I. A. Glosman: *Piezoelectric Ceramic Materials in Electronic Engineering*, Publ. House « Energija », Moscow, 1965.
4. W. Herzog: *Siebschaltungen mit Schwingkristallen*, 2. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1962.
5. R. Holland & E. P. EerNisse: *Design of Resonant Piezoelectric Devices*, MIT Press, Cambridge (Mass.), 1969.
6. H. W. Katz, ed.: *Solid State Magnetic and Dielectric Devices*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1959.
7. W. P. Mason, ed.: *Physical Acoustics*, vol. 1, Pt. A, *Methods and Devices*, Academic Press, New York, 1964.
8. J. van Randeraat, ed.: *Piezoelectric Ceramics*, Philips Technical Publication Dept., Eindhoven, 1968.
9. F. Sauerland: *Design of Single Sideband Ladder Filters Employing Quartz and Ceramic Resonators*, Master's degree thesis case, Institute of Technology, June 1966.
10. F. Sauerland: *Entwurfsverfahren für Piezoelektrische Abzweigfilter*, Doktor-Ingenieures Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Juni 1969.
11. H. F. Tiersten: *Linear Piezoelectric Plate Vibrations*, Plenum Press, New York, 1969.

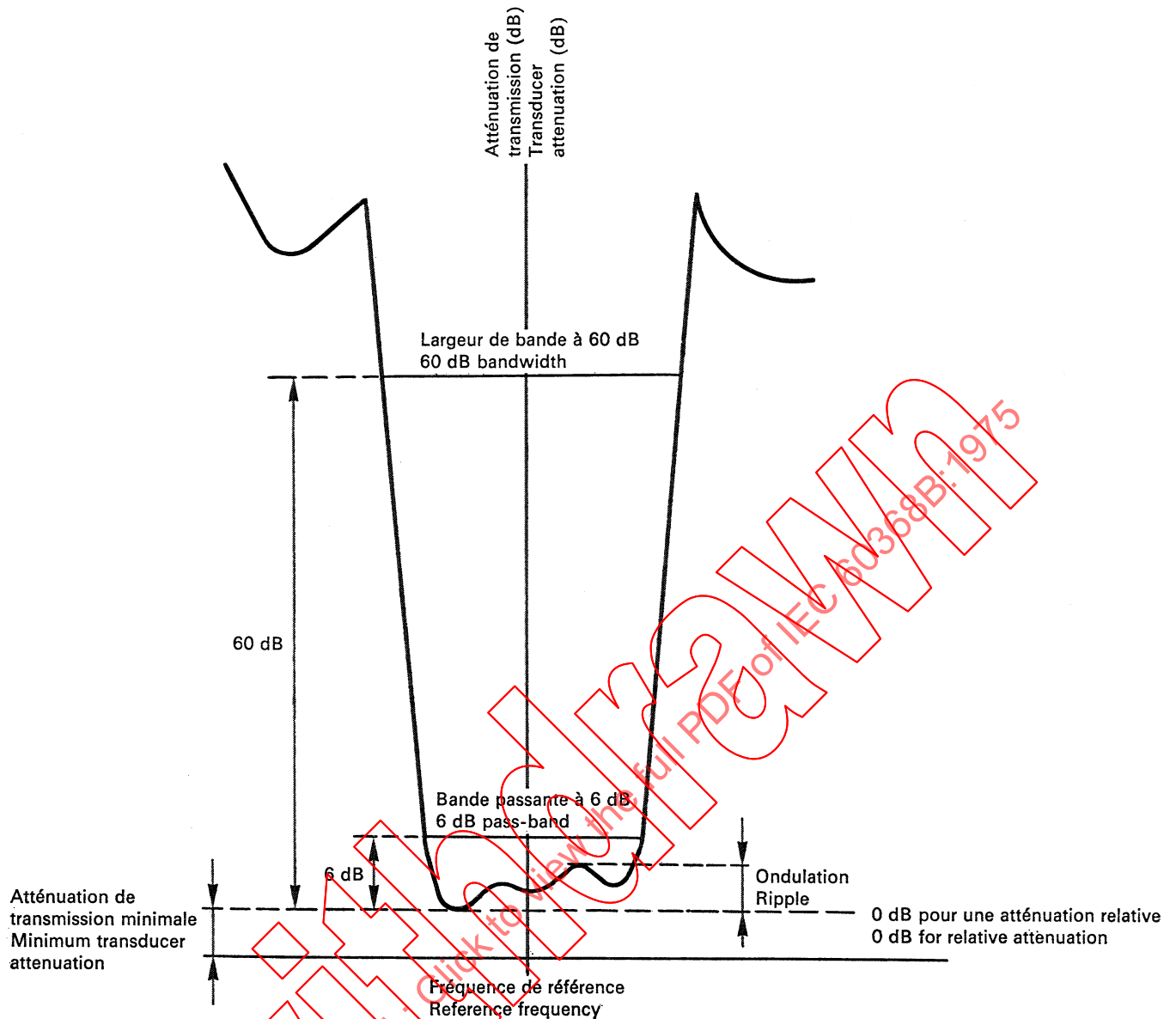
Articles spécialisés — Specialized articles

1. Ph. van Bastelaer: *The Design of Band-Pass Filters with Piezoelectric Resonators*, Revue H. F., vol. VII, 7-1968, pp. 193-205.
2. E. G. Bronnikova & I. M. Larionov: *On the Application of Piezoelectric Ceramics Based on Solid Solutions of Lead-Barium Metaniobate in Wide Pass-Band Filtering Systems*, Investija Acad. Sci. U.S.S.R., Phys. Ser., vol. 24, No. 11, 1960.
3. A. E. Crawford: *Piezoelectric Ceramic Transformers and Filters*, J. Brit. IRE, vol. 21, April 1961, pp. 353-360.
4. D. R. Curran & W. J. Gerber: *Low-Frequency Ceramic Band-Pass Filters*, Proc. IEEE Electron. Components Conf., May 1963, pp. 108-113.
5. D. R. Curran & W. J. Gerber: *Piezoelectric Ceramic IF Filters*, Proc. IEEE Electron. Components Conf., May 1959, pp. 160-165.
6. D. R. Curran & D. J. Koneval: *Miniature Ceramic Band-Pass Filters*, Proc. Nat. Electron. Conf., vol. 17, Oct. 1961, pp. 514-520.
7. J. H. Denny & C. A. Rosen: *Piezoelectric Ceramic Reed Filter*, Prod. Nat. Electron. Conf., vol. 13, 1957, pp. 309-325.
8. D. Elders & E. Gikow: *New Development in Piezoelectric Ceramic IF Band-Pass Filters*, Proc. Electron. Components Symp., 1957, pp. 30-37.
9. D. Elders & E. Gikow: *Ceramic IF Filters Match Transistors*, Electronics, April 25, 1958, pp. 58-61.
10. P. D. Filimonov & A. N. Alekseev: *Low Frequency Integral Piezoelectric Ceramic Filters*, New piezoelectric and ferroelectric materials and their application, MDNTP, Moscow, 1969.
11. S. Fujishima, S. Nosaka & H. Ishiyama: *10 Mc Ceramic Filters by Trapped Energy Modes*, Reports of autumn meeting, Acoust. Soc. Japan, Nov. 1966, pp. 3-4.
12. W. J. Gerber, D. R. Curran & T. R. Sliker: *Piezoelectric Ceramic Tuning Fork Filters*, IEEE Trans. Vehicule Comm., March 1966, pp. 71-76.
13. E. Gikow, A. Rand & J. M. Giannotto: *Functional Circuits Through Acoustic Devices*, IRE Trans. Military Electronics, vol. MIL-4, Oct. 1960, pp. 469-481.
14. P. O. Gribovsky: *Ceramic Solid Circuits*, New piezoelectric and ferroelectric materials and their application, MDNTP, Moscow, 1969, p. 164.

15. H. Jaffe: *Piezoelectric Application of Ferroelectrics*, IEEE Transactions of electron devices, vol. ED-16, No. 6, June 1969, pp. 557-561.
16. H. Jumonji & M. Onoe: *Analysis of Piezoelectric Multiple Mode Resonators Vibrating in Longitudinal and Flexural Modes*, Trans. Inst. Elect. Comm. Engrs. Japan, vol. 51-A, 1970, pp. 110-117.
17. Y. Kaname & Y. Ise: *Piezoelectric Ceramic Resonators and Filters for FM Stereo Multiplex Demodulator*, Trans. Inst. Electr. Comm. Engrs. Japan, vol. 53-A, 1970.
18. Y. Kaname: *Useful Evaluation Method for Qualities of Piezoelectric Ceramic Materials for Wave Filters*, Electronics and communications in Japan, vol. 52-C, No. 8, 1969, pp. 112-120.
19. Y. Kaname, T. Nagata & Y. Nakajima: *Piezoelectric Ceramic Resonators Vibrating in Trapped Energy Modes*, Reports of Spring Meeting, Acoust. Soc. Japan, May 1966, pp. 11-12.
20. Y. Kaname, T. Nagata & T. Tanaka: *Piezoelectric Ceramic Disc Resonator Vibrating in Thickness-Shear Mode*, J. Inst. Elect. Comm. Engrs. Japan, vol. 50, Jan. 1967, pp. 66-72.
21. V. M. Kantor: *Cauer — Section Cascaded Filter Circuits*, Radio Engineering, vol. 24, No. 6, 1969, pp. 125-126.
22. V. M. Kantor: *Piezoelectric Filter with Zolotaref Attenuation Characteristic*, Telecommunications and Radio-engineering U.S.S.R., No. 11, 1966, pp. 73-78.
23. V. M. Kantor & A. A. Lanne: *The Synthesis of Low- and High-Pass Piezoelectric Filters from their Effective Parameters*, Telecommunications and Radio-engineering U.S.S.R., No. 4, 1967, pp. 6-14.
24. G. Liebscher: *Transfilter — Ein neues Bauelement für selektive Verstärker*, Funktechnik, 1969, pp. 286-287.
25. A. Lungo & K. Henderson: *Application of Piezoelectric Resonators to Modern Band-Pass Amplifiers*, IRE Internat. Conv. Record, No. 6, March 1958, pp. 235-242.
26. A. Lungo & F. Sauerland: *A Ceramic Band-pass Transformer and Filter Element*, IRE Internat. Conv. Record, March 1961, pp. 189-203.
27. R. C. Macario: *Design Data for Band-Pass Ladder Filter Employing Ceramic Resonators*, Electron. Eng., March 1961.
28. A. M. MacSwan & D. S. Campbell: *Some Uses of Piezoelectric Lead Titanate Zirconate*, Proc. Inst. Elec. Engrs. (London), Pt. B, Suppl. No. 22, 1962, pp. 374-378.
29. O. E. Mattiat: *Piezoelectric Ceramic IF Band-Pass Filters*, IRE Nat. Conv. Rec., 1956, pp. 192-199.
30. E. C. Munk: *The Equivalent Electrical Circuit for Radial Modes of a Piezoelectric Ceramic Disc with Concentric Electrodes*, Philips Research Reports, vol. 20, No. 2, April 1965, pp. 170-189.
31. G. S. Moschytz: *Inductorless Filters: A Survey, Part I: Electromechanical Filters*, IEEE Spectrum, August 1970, pp. 30-36; Part II: *Linear Active and Digital Filters*, IEEE Spectrum, Sept. 1970, pp. 63-75.
32. T. Nagata, Y. Nakajima, M. Ishibashi & Y. Kaname: *4.5 MHz Piezoelectric Ceramic Resonator for a TV Receiver*, National Tech. Report, vol. 14, August 1968, pp. 247-254.
33. M. Onoe: *Multiple Mode Piezoelectric Resonators and their Application to Filters and Parametric Devices*, Proc. 6th Internat. Cong. Acoust., August 1968, pp. G-101-104.
34. M. Onoe & H. Jumonji: *Analysis of Piezoelectric Resonators Vibrating in Trapped Energy Modes*, J. Inst. Elect. Comm. Engrs. Japan, vol. 48, Sept. 1965, pp. 1574-1581.
35. M. Onoe, N. Kobori & H. Jumonji: *Experiments of Trapped Energy Multiple Mode (Quartz and Ceramic) Filters*, Proc. Barium Titanate Study Group of Japan, vol. 13, May 1965, pp. 26-28.
36. C. A. Rosen: *Ceramic Transformer and Filters*, Proc. Electronics Components Symp., May 1956, pp. 205-211.
37. F. Sauerland: *Design of Piezoelectric Ladder Filters*, IEEE Internat. Conv. Record, vol. 13, No. 10, 1965, pp. 111-115.
38. F. Sauerland & W. Blum: *Ceramic IF Filters for Consumer Products*, IEEE Spectrum, vol. 5, Nov. 1968, pp. 112-126.
39. J. D. Schoeffler: *Insertion Loss Design of Symmetrical Lattice Piezoelectric Resonator Filters with Symmetrical or Unsymmetrical Pass-Bands*, IRE Trans, Circuit Theory, vol. CT-9, Sept. 1962, pp. 251-256.
40. J. D. Schoeffler: *A Solution of the Approximation and Realization Problems for Crystal Ladder Filters*, IEEE Internat. Conv. Rec. Pt. 1, 1964, pp. 282-288.
41. J. D. Schoeffler & D. R. Curran: *Easy Way to Design Ceramic Resonator Filters*, Electronics, Nov. 9, 1962, pp. 54-57.
42. J. D. Schoeffler, D. R. Curran & W. V. Szczecinski: *The Design of Piezoelectric Ceramic Resonator Filters with Prescribed Insertion Loss*, Proc. Electronics Components, Conf., May 1962.
43. H. Schüssler: *Einkreisige Keramische Filterelemente*, A.E.U., vol. 17, 1963, pp. 223-229.

44. W. Shockley, D. R. Curran & D. J. Koneval: *Energy Trapping and Related Studies of Multiple Electrode Filter Crystals*, Proc. Annual Symp. Freq. Control, 1963, pp. 88-126.
45. C. M. Stearns: *A Miniaturized Ceramic Transformer IF Amplifier*, Proc. Electronics Components Conf., May 1959, pp. 155-
46. S. W. Tehon: *Miniaturized Ceramic Filters*, Digest. Solid-state Circuits Conf., 1959, pp. 34-35.
47. A. Waren & J. Schoeffler: *Approximation Problem for Resonator Ladder Filters*, IEEE Trans, Circuit Theory, vol. CT-12, June 1 pp. 215-222.
48. A. Waren & J. Schoeffler: *Ceramic Filters Edge Out Costly IF Transformers*, Electronics, vol. 39, Nov. 14, 1966, pp. 160-163.

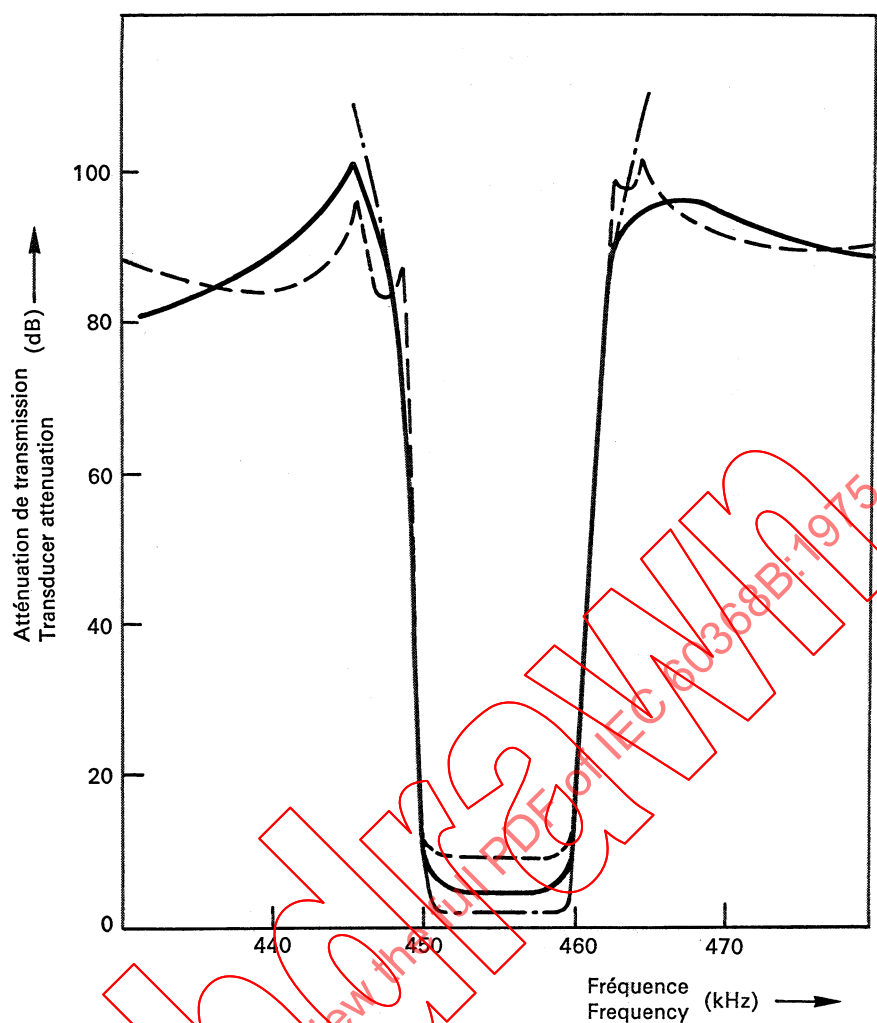
Withdrawing
IEC NORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60368B:1975



051/75

FIG. 1. — Caractéristique de l'atténuation de transmission d'un filtre.

Transducer attenuation characteristics of a filter.



052/75

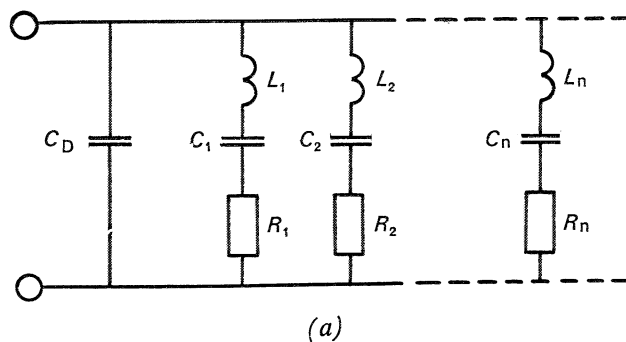
— Filtre céramique; Q des résonateurs = 800
Ceramic filter; resonator Q_s = 800

— Filtre LC; Q des bobines = 300
LC filter; coil Q_s = 300

— Filtre à quartz; Q des bobines d'extension = 300
Quartz crystal filter; extension coil Q_s = 300

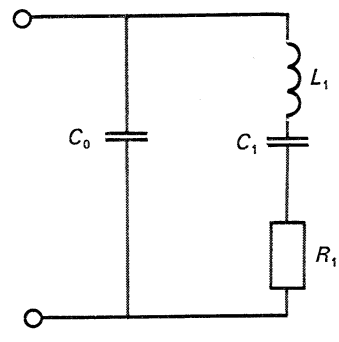
FIG. 2. — Comparaison des caractéristiques d'un filtre céramique typique avec celles d'un filtre LC et d'un filtre à quartz ayant le même nombre de circuits résonants.

Comparison of characteristics of a typical ceramic filter, LC filter and a quartz crystal filter, with the same number of resonant circuits.



(a)

053/75



(b)

054/75

Formules valables pour chaque circuit résonant

Formulas valid for every resonant circuit

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}}$$

$$Q_m = \frac{2\pi f_s L_1}{R_1}$$

$$B_s = \frac{f_p - f_s}{f_s}$$

FIG. 3. — Circuits équivalents d'un résonateur céramique.

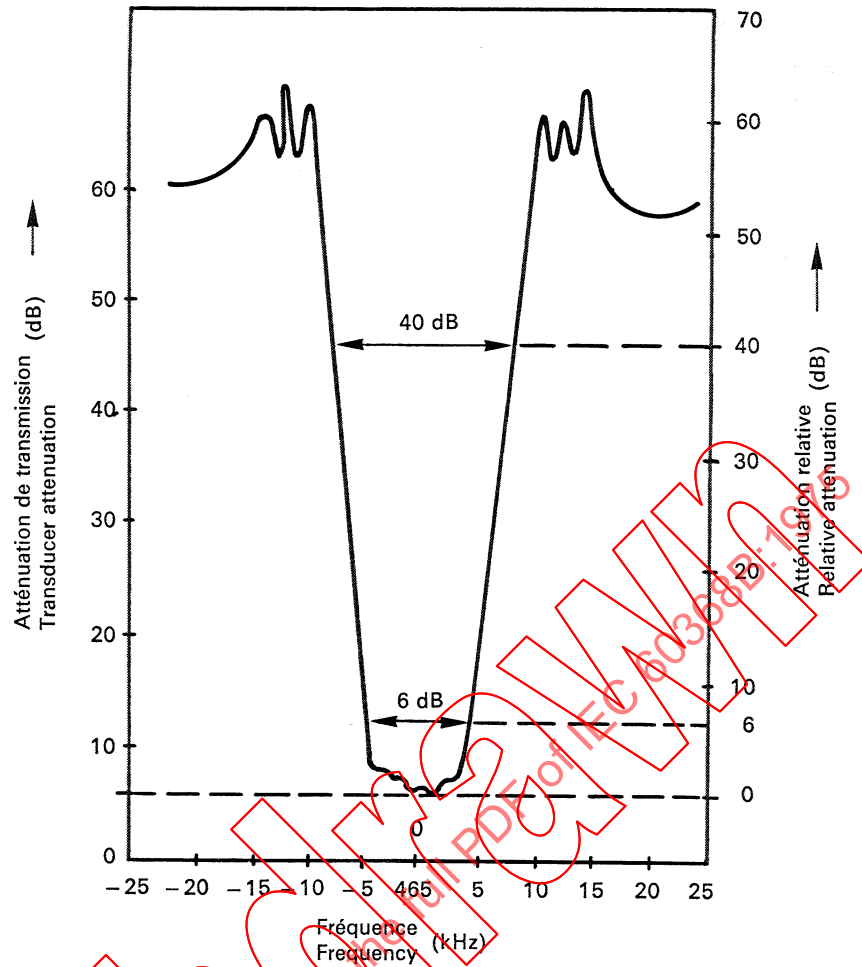
(a) Circuit valable pour une large gamme de fréquences.

(b) Circuit simplifié valable seulement à proximité immédiate d'une résonance.

Equivalent circuits for a ceramic resonator.

(a) Circuit valid for a wide range of frequencies.

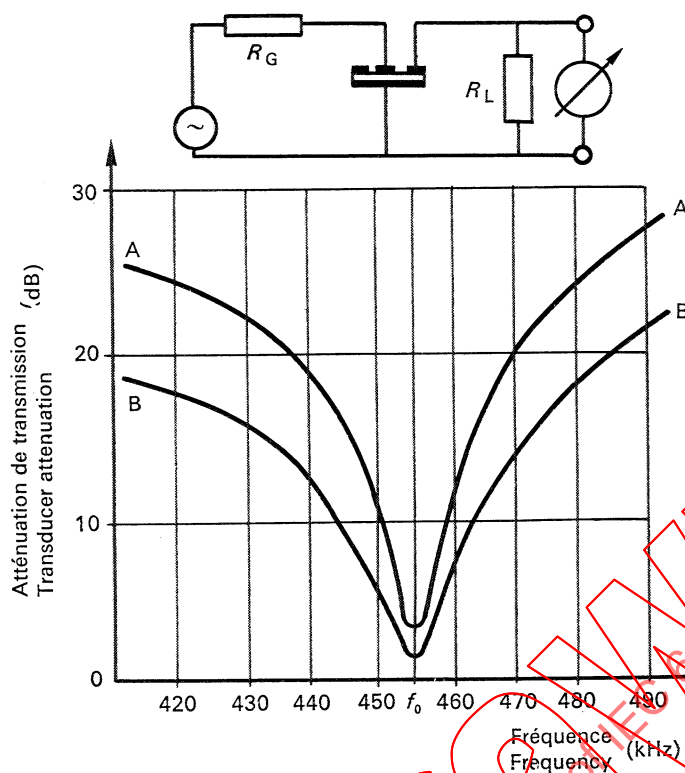
(b) Simplified circuit valid only for the immediate vicinity of a resonance.



055/75

FIG. 4a. — Caractéristique de l'atténuation d'un filtre de fréquence intermédiaire ayant la configuration multiplex en treillis, composé de huit résonateurs.

Attenuation characteristic of an I.F. ceramic filter of multiple ladder configuration, consisting of eight resonators.



Courbe A: $R_G = 12 \text{ k}\Omega$
 Curve $R_L = 2,2 \text{ k}\Omega$
 Courbe B: $R_G = 5,6 \text{ k}\Omega$
 Curve $R_L = 1 \text{ k}\Omega$

056/75

FIG. 4b. — Caractéristique de l'atténuation d'un filtre pour une fréquence intermédiaire avec les résonateurs ayant des électrodes annulaires et ponctuelles avec des impédances de charge différentes.

Attenuation characteristic of an I.F. filter having a form of resonator with ring and dot electrodes with various terminating impedances.

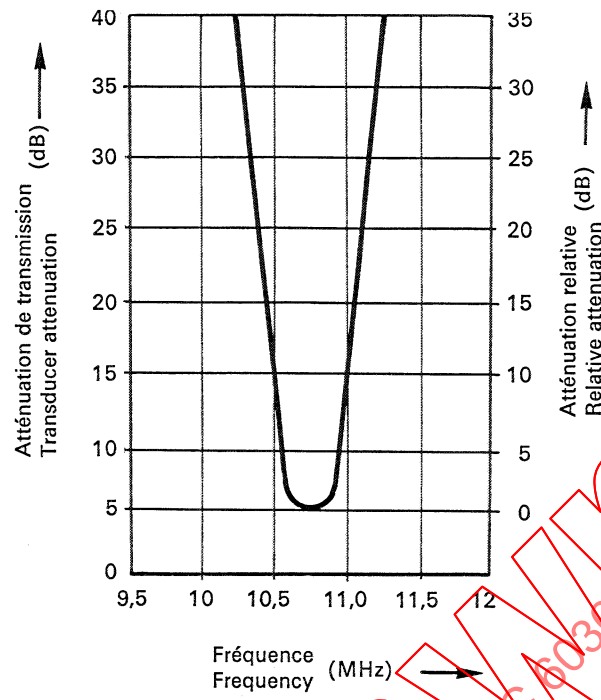


FIG. 5. — Caractéristique de l'atténuation d'un filtre céramique à $f_c = 10,7$ MHz.
Attenuation characteristic of a ceramic filter with $f_c = 10.7$ MHz.