

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 368A

1973

Premier complément à la Publication 368 (1971)

Filtres piézoélectriques

First 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**
Publié trimestriellement
- **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**
Published quarterly
- **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)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 368A

1973

Premier complément à la Publication 368 (1971)

Filtres piézoélectriques

First 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

INTRODUCTION	6
------------------------	---

SECTION UN — LES FILTRES À QUARTZ

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Introduction technique	8
3. Résonateurs à quartz pour filtres	8
4. Caractéristiques fondamentales des filtres	12
4.1 Caractéristiques générales	12
4.2 Disponibilité commerciale et caractéristiques limites	16
4.3 Niveaux d'entrée	24
5. Emploi et remarques pratiques	26
6. Méthodes de mesure	26
7. Marquage	26
8. Procédure pour la commande d'un filtre	28
9. Termes et définitions	30
BIBLIOGRAPHIE	32
FIGURES	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF PIEZOELECTRIC FILTERS

INTRODUCTION	7
------------------------	---

SECTION ONE — QUARTZ CRYSTAL FILTERS

Clause

1. Scope	7
2. Technical introduction	9
3. Quartz crystal resonators for filters	9
4. Basic filter characteristics	13
4.1 General characteristics	13
4.2 Availability and limitations	17
4.3 Input levels	25
5. Applications and practical remarks	27
6. Measuring methods	27
7. Marking	27
8. Ordering procedure	29
9. Terms and definitions	31
BIBLIOGRAPHY	32
FIGURES	35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PREMIER 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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 49 de la CEI: Dispositifs piézo-électriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Elle constitue le chapitre III de la Publication 368 de la CEI.

Un premier projet de ce chapitre III fut discuté lors de la réunion tenue à Milan en juin 1968. A la suite de cette réunion, un projet définitif, document 49(Bureau Central)58, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1970.

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

Afrique du Sud (République d')	Israël
Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Suède
Canada	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
Hongrie	Union des Républiques
Iran	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRST 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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

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

It forms Chapter III of IEC Publication 368.

A first draft of Chapter III was discussed at the meeting held in Milan in June 1968. As a result of this meeting, a final draft, document 49(Central Office)58, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1970.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Belgium	Netherlands
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet
Iran	Socialist Republics
Israel	United States of America

PREMIER COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 368 (1971)

FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

CHAPITRE III: GUIDE D'EMPLOI DES FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

INTRODUCTION

Les filtres électriques sont largement utilisés en communication, télémesure, navigation et pour les appareils de mesure. Dans de nombreux cas, les fonctions d'amplification et de filtrage sont combinées comme dans le cas des transformateurs de liaison entre des lampes ou des transistors. Des exigences récentes portant sur une sélectivité plus grande, une caractéristique de la bande passante plus plate, une atténuation dans la bande d'arrêt plus élevée, une stabilité plus grande et un vieillissement plus faible ont amené l'utilisation accrue de filtres comme dispositifs indépendants distincts des amplificateurs. L'arrivée des circuits intégrés a accéléré cette tendance.

Les qualités d'un filtre dépendent principalement des caractéristiques des éléments résonants utilisés dans le filtre. Les résonateurs piézoélectriques sont supérieurs aux circuits résonants classiques LC en ce qui concerne certaines caractéristiques telles que le facteur de surtension (Q), les caractéristiques de température, de vieillissement, les dimensions et le poids. De ce fait, une grande variété de filtres piézoélectriques se trouve actuellement dans le commerce.

On rencontre deux types principaux de filtres piézoélectriques: le filtre à quartz et le filtre à céramique. Ces deux types présentent des similitudes mais aussi des divergences. Cette recommandation a été établie pour répondre au désir généralement exprimé, tant par les usagers que par les constructeurs, de disposer d'un guide d'emploi des filtres piézoélectriques afin que ceux-ci puissent être utilisés au mieux. La section un se rapporte aux filtres à quartz et la section deux se rapporte aux filtres à céramique.

SECTION UN — FILTRES À QUARTZ

1. **Domaine d'application**

Le facteur de surtension (Q) élevé et la grande stabilité des résonateurs à quartz ont été utilisés pour obtenir des filtres électriques très sélectifs, qui sont habituellement appelés filtres à quartz. Les filtres à quartz sont maintenant largement utilisés en communication, télémesure, navigation et pour les appareils de mesure, ainsi que dans les systèmes porteurs à longue distance. Bien que leurs spécifications soient très diverses, la plupart des besoins peuvent être couverts par un petit nombre de types de filtres à quartz normalisés.

Le domaine d'application de cette recommandation se limite principalement aux filtres passe-bande passifs fonctionnant dans la gamme de fréquences de 10 kHz à 100 MHz environ et qui sont disponibles dans le commerce en tant que composés séparés et indépendants. Ne sont pas considérés ici les filtres intégrés dans des systèmes plus complexes. Le but de cette recommandation 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.

FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 368 (1971)

PIEZOELECTRIC FILTERS

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF PIEZOELECTRIC FILTERS

INTRODUCTION

Electrical filters are widely used in communication, telemetry, navigation and measurement applications. In many cases, the amplification and the filtering are combined as in the case of interstage transformers between tubes or transistors. Recent demands for sharper selectivity, flatter pass-band characteristics, higher stop-band attenuation, higher stability and lower ageing have resulted in increasing use of filters as independent units separated from amplifiers. The advent of integrated circuits has accelerated this trend.

The qualities of a filter are mainly governed by the characteristics of the resonant elements used in the filter. Piezoelectric resonators are superior to conventional LC resonant circuits as regards such characteristics as the quality factor (Q), temperature characteristics, ageing rate, size and weight. Hence, a wide variety of piezoelectric filters is now available commercially.

There are two main types of piezoelectric filters: the quartz crystal filter and the ceramic filter. There are certain similarities as well as dissimilarities between these two types of filters. This recommendation has been compiled in response to a generally expressed desire on the part of both users and manufacturers for a guide to the use of piezoelectric filters, so that the filters may be used to their best advantage. Section One relates to quartz crystal filters and Section Two relates to ceramic filters.

SECTION ONE — QUARTZ CRYSTAL FILTERS

1. Scope

The high Q and the high stability of quartz crystal resonators have been used in obtaining very selective electrical filters, which are commonly called crystal filters. Crystal filters are now widely used in communication, telemetry, navigation and measurement as well as in long distance carrier systems. Although their specifications are very diverse, many of these needs can be served by a few standard types of crystal filters.

The scope of this recommendation is primarily limited to passive band-pass filters in the frequency range about 10 kHz to 100 MHz, which are commercially available as separate and independent units. Filters which are integrated into a larger system are not considered here. It is not the aim of this recommendation 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 more fundamental questions which should be considered by the user before he places an order for a unit for a new application. Such a procedure will be the user's insurance against unsatisfactory performance.

Les feuilles particulières normalisées, telles que celles de la recommandation 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 la bande passante, d'ondulation, de facteur de forme, d'impédance de charge, etc. Ces feuilles particulières sont groupées pour couvrir une large gamme de filtres à quartz possédant des caractéristiques normalisées. On ne saurait trop insister sur le fait que l'utilisateur devrait, partout où cela est possible, choisir ses filtres à quartz 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 dans la sélection de la fréquence de référence.

Par opposition aux filtres classiques LC, les filtres à quartz offrent des avantages substantiels dans la construction et le prix de fabrication 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 jamais stabilisée; elle est en continuelle évolution. Lorsque de nouveaux besoins se présentent, des feuilles particulières sont élaborées pour satisfaire à ces besoins après examen minutieux par la Commission Electrotechnique Internationale.

2. Introduction technique

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

Les caractéristiques du filtre sont habituellement exprimées par l'atténuation de transmission en fonction de la fréquence, comme il est indiqué à la figure 1, page 34. Une méthode normalisée pour la mesure de l'atténuation de transmission sera décrite à l'article 6. Dans certaines applications, des 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 spécifiées en plus 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 sont données dans la Publication 368 de la CEI. La spécification doit être satisfaite entre les températures minimales et maximales de la gamme de température de fonctionnement spécifiée. Cette condition doit être aussi remplie avant et après les essais d'environnement.

3. Résonateurs à quartz pour filtres

Une brève description des résonateurs à quartz est incluse pour que l'utilisateur puisse comprendre la possibilité de réalisation et les limitations dans la construction des filtres à quartz, imposées par les caractéristiques des résonateurs. Dans un filtre conventionnel, les inductances et les condensateurs sont utilisés comme éléments réactifs. Les pertes inévitables associées aux composants réels donnent un effet double 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, c'est que la finesse de coupure peut être détériorée. Le second effet dépend principalement du facteur de surtension des composants, alors que le premier effet dépend, entre autres, des valeurs absolues des pertes.

Comme il sera décrit sous peu, un résonateur à quartz est équivalent à une combinaison d'éléments réactifs ayant un facteur de surtension (Q) très élevé qui est au moins deux fois supérieur au facteur de surtension (Q) des inductances conventionnelles. Un filtre à quartz utilise des résonateurs à quartz à la place des inductances et des condensateurs et tire avantage du

Standard article sheets, such as those of the IEC recommendation 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 crystal filters with standardized performances. It cannot be over-emphasized that the user should, wherever possible, select his crystal 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 applies particularly to the selection of the reference frequency.

In contrast to conventional LC filters, quartz 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 a continuing process. As new requirements arise, article sheets are prepared to meet these requirements after careful consideration by the International Electrotechnical Commission.

2. Technical introduction

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

Filter characteristics are usually expressed in terms of transducer attenuation as a function of frequency, as shown in Figure 1, page 35. A standard method for measuring transducer attenuation will be described in Clause 6. 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 are 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 environmental tests.

3. Quartz crystal resonators for filters

A brief description of crystal resonators is included here, so that a user may understand the feasibility and the limitation in the design of crystal 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 cutoff 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 shortly, a quartz crystal resonator is equivalent to a combination of reactive elements with very high Q , which is at least two orders of magnitude better than the Q of conventional inductors. A crystal filter uses quartz resonators in place of inductors and capacitors and takes advantage of the high Q of resonators to achieve sharpness of cutoff.

facteur de surtension (Q) élevé des résonateurs pour obtenir la finesse de coupure. La figure 2, page 36, montre une comparaison type d'un filtre à quartz avec un filtre classique; ces filtres sont conçus pour avoir des bandes passantes similaires. On peut voir que des coupures plus nettes et des pointes d'atténuation plus aiguës sont obtenues par l'utilisation des résonateurs à quartz, alors qu'il y a peu d'amélioration de l'atténuation d'insertion minimale. L'utilisation des résonateurs à quartz dans un filtre donne aussi des avantages supplémentaires tels qu'une meilleure caractéristique de température et de vieillissement, de petites dimensions et un poids plus faible.

Les caractéristiques électriques d'un résonateur à quartz peuvent être représentées par le circuit équivalent indiqué à la figure 3, page 37. Il consiste en une capacité parallèle C_0 et une branche dynamique comportant une inductance L_1 , une capacité C_1 et une résistance R_1 , en série. D'autres paramètres, commodes pour discuter des caractéristiques des résonateurs pour filtres, sont la fréquence de résonance série f_s , la fréquence de résonance parallèle f_p , le facteur de surtension (Q) et le rapport de capacité r , qui sont aussi définis dans la figure 3. Des résonateurs à quartz analogues sont largement utilisés pour la stabilisation de fréquence des oscillateurs. Il y a, cependant, certaines différences importantes entre les résonateurs pour filtres et les quartz pour oscillateurs. Dans le cas d'un quartz pour oscillateurs, le coefficient de température, les effets du vieillissement sur la fréquence de résonance et le facteur de surtension (Q) sont du plus grand intérêt. Ils sont aussi importants dans le cas d'un résonateur pour filtre, mais à un degré moindre.

Théoriquement, ils imposent la limite inférieure de largeur de bande utile d'un filtre à quartz. La largeur de bande de la plupart des filtres est habituellement beaucoup plus grande que cette limite.

Dans le cas d'un résonateur pour filtre, il est en plus nécessaire de spécifier tous les paramètres de réactance. Ces paramètres sont déterminés par des facteurs tels que les dimensions du résonateur, la configuration et la position des électrodes et le mode de vibration. Puisque ces facteurs ne peuvent pas être choisis arbitrairement, la gamme possible de ces paramètres est relativement limitée en comparaison de celle des inductances conventionnelles.

Par exemple:

- a) la gamme des inductances équivalentes possibles à une fréquence particulière n'excède pas environ 50, et pour les quartz fonctionnant aux hautes fréquences la gamme peut être inférieure à 5, comparée à la gamme de 1 000 ou plus pour des inductances conventionnelles acceptables, ou des capacités à une fréquence particulière. Cela impose des limitations sévères à la construction d'un filtre à quartz;
- b) la valeur élevée des inductances équivalentes est une difficulté de plus qu'on rencontre dans la pratique.

Le tableau I donne respectivement les caractéristiques de quartz types pour une fréquence basse (100 kHz) et pour une fréquence élevée (10,7 MHz). Le rapport de capacité r est le rapport de la capacité statique parallèle à la capacité dynamique équivalente. La valeur du rapport de capacité peut être modifiée par le réglage de la configuration des électrodes, mais ne peut pas être inférieure à une certaine valeur minimale qui est une constante inhérente au mode de vibration.

TABLEAU I

Fréquence	Inductance dynamique équivalente	Q	Rapport minimal de capacité r
100 kHz	20-100 H	50 000	130
10,7 MHz	10- 30 mH	150 000	250

Figure 2, page 36 shows a typical comparison of a crystal filter with a conventional filter, both of which are designed to have similar pass bands. It can be seen that much sharper cutoffs and sharper attenuation peaks are obtained by the use of crystal resonators, whereas there is little improvement in the minimum insertion attenuation. The use of crystal resonators in a filter also yields additional advantages such as better temperature and ageing characteristics, small size and lighter weight.

The electrical characteristics of a crystal resonator can be represented by means of the equivalent circuit shown in Figure 3, page 37. It consists of a shunt capacitance C_0 and a dynamic branch comprising equivalent inductance L_1 , capacitance C_1 and resistance R_1 , in series. Other convenient parameters for discussing characteristics of resonators for filters are series resonance frequency f_s , and parallel resonance frequency f_p , quality factor Q and capacitance ratio r , which are also defined in Figure 3. Similar quartz crystal units are widely used for controlling the frequency of oscillators. There are, however, a few important differences between resonators for filters and crystal units for oscillators. With a crystal unit for use in oscillators, the temperature coefficient, the effects of ageing on the resonance frequency and the Q are of prime interest. They are also important in the case of a filter resonator but to a smaller degree.

Theoretically, these determine the lower limit of the usable bandwidth of a crystal filter. The bandwidth of the majority of filters is usually far wider than this limit.

In the case of a resonator for a filter, it is further required that all the reactance parameters are specified in a design. These parameters are determined by such factors as the dimensions of the resonator, the shape and the location of electrodes and the mode of vibration. Since these factors cannot be chosen arbitrarily, the available range of the parameters is relatively restricted in comparison with the range of conventional inductors.

For example:

- a) the range of available equivalent inductances at a particular frequency does not exceed about 50 anywhere and for high-frequency crystals may not be as much as 5 compared with a range of 1 000 or more for acceptable conventional inductances or capacitances at a particular frequency. This imposes severe limitations on the design of a crystal filter;
- b) the high value of the equivalent inductances is a further practical difficulty.

Table I presents characteristics of typical crystal units for a low frequency (100 kHz) and a high frequency (10.7 MHz), respectively. The capacitance ratio r is the ratio of the shunt capacitance to the equivalent dynamic capacitance. The value of the capacitance ratio can be modified by the adjustment of the electrode configuration, but cannot be lower than a certain minimum value, which is an inherent constant of a mode of vibration.

TABLE I

Frequency	Equivalent dynamic inductance	Q	Minimum capacitance ratio r
100 kHz	20-100 H	50 000	130
10.7 MHz	10- 30 mH	150 000	250

Le rapport de capacité est aussi une mesure de la séparation entre la fréquence de résonance et celle d'antirésonance, comme indiqué ci-dessous :

$$\frac{f_p - f_s}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{r}} - 1 \simeq \frac{1}{2r}.$$

Par conséquent, le rapport de capacité est étroitement lié à la largeur de bande d'un filtre à quartz.

Dans le cas d'un filtre constitué par des quartz et des condensateurs, la bande passante partielle la plus large qui peut être obtenue est $(1/r)$. Si l'on désire des bandes passantes beaucoup plus larges, on peut utiliser des inductances de même que des quartz et des condensateurs. Une bande passante partielle allant jusqu'à $(2/r)^{1/2}$ peut être obtenue. Les inductances peuvent être placées dans le circuit de telle façon que la combinaison de leurs pertes avec celles des résistances de charge ait pour effet de provoquer une atténuation additionnelle constante sans aucun effet sur la finesse de la coupure.

Du fait que le résonateur à quartz utilise une structure mécanique complexe, il y a de nombreux modes de vibration autres que le mode principal destiné à l'utilisation dans un filtre. Parfois, ces modes ont lieu à proximité du mode principal et perturbent les caractéristiques des filtres. De tels modes indésirables doivent être éliminés ou affaiblis au-dessous d'un certain niveau ou déplacés jusqu'à des fréquences sans importance.

Cette condition est plus importante dans le cas des résonateurs pour filtres que dans le cas des quartz pour oscillateurs. Un calcul convenable des dimensions du résonateur, des électrodes et du montage y satisfait habituellement. C'est pourquoi la gamme possible des paramètres du circuit dynamique est plus réduite.

Un résonateur ayant plus d'une paire d'électrodes est parfois utilisé. Il y a aussi des résonateurs utilisant plus d'un mode de vibration principal. Bien que de tels résonateurs à électrodes multiples ou à modes multiples offrent quelques avantages dans la construction pratique d'un filtre, ils apportent peu de changements fondamentaux dans les possibilités de réalisation et les limites des filtres à quartz.

Dans un résonateur à quartz à haute fréquence, on peut « piéger » l'énergie de vibration au voisinage d'une électrode au moyen de la masse chargeant l'électrode. Un résonateur à quartz à modes multiples ou un filtre électromécanique peut être obtenu en utilisant le couplage acoustique mutuel entre plusieurs régions excitées par des électrodes différentes. On peut obtenir, de la sorte, un filtre complet sous une forme intégrée monolithique. Cela rend possible des réductions substantielles en volume et en poids.

4. Caractéristiques fondamentales des filtres

4.1 Caractéristiques générales

Ce qui suit est un bref résumé des caractéristiques des types de filtres individuels utilisant des éléments linéaires passifs. Il faut noter qu'un discriminateur à quartz peut être considéré comme une forme spécifique de filtre incorporant des dispositifs non linéaires. Il y a aussi des filtres utilisant des éléments actifs. Ces deux types de filtres sont hors du domaine d'application de ce guide.

Filtres à bande latérale unique (BLU)

Ils peuvent avoir des caractéristiques d'atténuation symétriques ou dissymétriques selon que l'appareillage utilise une seule fréquence porteuse ou deux fréquences porteuses, l'une et l'autre étant respectivement de chaque côté de la bande passante. La largeur de la bande passante (habituellement à 6 dB) sera d'environ 2,4 kHz à 3,5 kHz en fonction de l'application.

The capacitance ratio is also a measure of the separation between the resonance and the anti-resonance frequencies as shown below:

$$\frac{f_p - f_s}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{1}{r}} - 1 \approx \frac{1}{2r}.$$

Hence, the capacitance ratio is closely related to the bandwidth of a crystal filter.

With a filter consisting of crystal units and capacitors, the widest fractional pass band obtainable is $(1/r)$. If much wider pass bands are required, inductors may be employed as well as crystal units and capacitors. A fractional pass band up to $(2/r)^{1/2}$ may be obtained. Inductors may be placed in such positions in the circuit as to render possible a combination of their losses with those of the load resistances, with the result that the effect of the losses causes only an additional constant attenuation without affecting the sharpness of cutoff.

Because a crystal resonator has a complex mechanical structure, there are numerous modes of vibration other than the main mode which is intended for use in a filter. These modes sometimes occur in the vicinity of the main mode and disturb filter characteristics. Such unwanted modes must be suppressed below a certain level or shifted to frequencies which are of no importance.

This requirement is more important for filter resonators than for crystal units for oscillators. It is usually met by a suitable design of the dimensions of the resonator, the electrodes and the mounting. It is for this reason that the available range of equivalent circuit parameters is more restricted.

A resonator with more than one pair of electrodes is sometimes used. There are also resonators utilizing more than one main mode of vibration. Although such multiple-electrode or multiple-mode resonators offer some advantages in the practical construction of a filter, they introduce little fundamental change in the feasibility and limitations of crystal filters.

In a high-frequency crystal resonator, the vibration energy can be trapped in the vicinity of an electrode by the loading mass of the electrode. A multiple mode resonator or an electromechanical filter can be obtained by utilizing mutual acoustic coupling between several regions energized by different electrodes. Thus, a complete filter can be obtained in a monolithic integrated form. This makes possible substantial reductions in size and weight.

4. **Basic filter characteristics**

4.1 *General characteristics*

The following is a brief summary of the characteristics of individual types of filters using passive linear elements. It should be noted that a crystal discriminator can be regarded as a specific form of a filter incorporating non-linear devices. There are also filters using active elements. Both of these are outside the scope of this guide.

Single side-band (SSB) filters

These may have either symmetrical or asymmetrical attenuation characteristics depending on whether the equipment uses a single carrier frequency or two alternative carrier frequencies one on each side of the pass band. The pass bandwidth (typically at 6 dB) will lie between about 2.4 kHz and 3.5 kHz, depending on the application.