

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60368-2-1

Deuxième édition
Second edition
1988-06

Filtres piézoélectriques

**Deuxième partie:
Guide d'emploi des filtres piézoélectriques
Section un – Filtres à quartz**

Piezoelectric filters

**Part 2:
Guide to the use of piezoelectric filters
Section One – Quartz crystal filters**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60368-2-1: 1988

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60368-2-1

Deuxième édition
Second edition
1988-06

Filtres piézoélectriques

**Deuxième partie:
Guide d'emploi des filtres piézoélectriques
Section un – Filtres à quartz**

Piezoelectric filters

**Part 2:
Guide to the use of piezoelectric filters
Section One – Quartz crystal filters**

© IEC 1988 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6

CHAPITRE III: GUIDE D'EMPLOI DES FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

SECTION UN — FILTRES À QUARTZ

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Filtres à quartz – considérations générales	6
2.1 Introduction	6
2.2 Termes et définitions	8
2.3 Types de filtres	16
3. Résonateurs à quartz pour les filtres	24
3.1 Circuit électrique équivalent d'un résonateur à quartz	26
3.2 Résonances indésirables	30
3.3 Utilisation pour le filtrage	30
4. Caractéristiques fondamentales des filtres	32
4.1 Impédance de source et impédance de charge	32
4.2 Facteur de forme	32
4.3 Ondulation dans la bande passante	32
4.4 Affaiblissement de transmission minimal dans la bande passante	34
5. Disponibilité commerciale et caractéristiques limites	34
5.1 Effet de la largeur de bande sur la fabrication des filtres passe-bande à quartz	36
5.2 Effet des difficultés de fabrication des résonateurs à quartz	44
5.3 Effet dû à l'environnement	46
5.4 Autres effets	48
5.5 Considérations pratiques de construction	54
6. Obtention de la caractéristique optimale	54
6.1 Introduction	54
6.2 Adaptation	56
6.3 Obtention de la spécification de la bande atténuée	58
6.4 Niveau d'entrée	58
7. Méthodes de mesure	64
8. Données techniques destinées à accompagner une commande	64
8.1 Procédure pour la commande	64
8.2 Prescriptions obligatoires	66
8.3 Prescriptions facultatives	66
9. Facteurs affectant le coût des filtres à quartz	68
9.1 Fréquence centrale	68
9.2 Facteur de forme	70
9.3 Affaiblissement dans la bande atténuée	70
9.4 Linéarité de phase et distorsion du retard de groupe	70
9.5 Conditions d'environnement	70
9.6 Considérations générales sur les essais	70
BIBLIOGRAPHIE	74

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF PIEZOELECTRIC FILTERS

SECTION ONE — QUARTZ CRYSTAL FILTERS

Clause	
1. Scope	7
2. Crystal filters – general synopsis	7
2.1 Introduction	7
2.2 Terms and definitions	9
2.3 Filter types	17
3. Quartz vibrators for filters	25
3.1 The equivalent electrical circuit of a quartz crystal unit	27
3.2 Unwanted responses	31
3.3 Use in filter applications	31
4. Fundamental filter characteristics	33
4.1 Source and load impedance	33
4.2 Shape factor	33
4.3 Pass-band ripple	33
4.4 Minimum transducer attenuation in the pass band	35
5. Availability and limitations	35
5.1 Effect of bandwidth on availability of crystal band-pass filters	37
5.2 Effect of difficulties in the manufacture of crystal units	45
5.3 Effect of environmental characteristics	47
5.4 Other effects	49
5.5 Practical design considerations	55
6. Obtaining optimum performance	55
6.1 Introduction	55
6.2 Matching	57
6.3 Achieving stop-band specification	59
6.4 Input level	59
7. Measuring methods	65
8. Technical data to accompany order form	65
8.1 Ordering procedure	65
8.2 Mandatory requirements	67
8.3 Optional requirements	67
9. Factors affecting cost of crystal filters	69
9.1 Centre frequency	69
9.2 Shape factor	71
9.3 Stop-band attenuation	71
9.4 Phase linearity and group delay distortion	71
9.5 Environmental conditions	71
9.6 General testing considerations	71
BIBLIOGRAPHY	74

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

Deuxième partie: Guide d'emploi des filtres piézoélectriques Section un: Filtres à quartz

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

Le présent guide a été établi par le Comité d'Etudes n° 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence. Il remplace la Publication 368A de la CEI, parue en 1973.

La Publication 368 de la CEI: Filtres piézoélectriques, est composée des parties suivantes:

- 368-1: Première partie: Informations générales, valeurs normalisées et conditions d'essais (chapitres I et II);
- 368-2: Deuxième partie: Guide d'emploi des filtres piézoélectriques (chapitre III);
- 368-3: Troisième partie: Encombrements normalisés (chapitre IV).

La présente publication constitue la section un de la deuxième partie (Chapitre III) et est un guide pour l'emploi des filtres à quartz. Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
49(BC)177-I, II	49(BC)185

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n°s 122-2 (1983): Quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence. Deuxième partie: Guide pour l'emploi des résonateurs à quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence.
- 283 (1968): Méthodes pour la mesure de fréquence et de résistance équivalente des fréquences indésirables des quartz pour filtres.
- 302 (1969): Définitions normalisées et méthodes de mesures pour les résonateurs piézoélectriques de fréquences inférieures à 30 MHz.
- 368-1 (1982): Filtres piézoélectriques, Première partie: Informations générales, valeurs normalisées et conditions d'essais.
- 444: Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π .

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PIEZOELECTRIC FILTERS**Part 2: Guide to the use of piezoelectric filters****Section One: Quartz crystal filters**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements for 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 guide has been prepared by IEC Technical Committee No. 49: Piezoelectric devices for frequency control and selection. It supersedes IEC Publication 368A, issued in 1973.

IEC Publication 368: Piezoelectric filters, comprises:

368-1: Part 1: General information, standard values and test conditions (Chapters I and II)

368-2: Part 2: Guide to the use of piezoelectric filters (Chapter III)

368-3: Part 3: Standard outlines (Chapter IV).

The present publication constitutes Section One of Part 2 (Chapter III) and is a guide to the use of quartz crystal filters. The text is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
49(CO)177-I, II	49(CO)185

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Report indicated in the above table.

The following IEC Publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 122-2 (1983): Quartz crystal units for frequency control and selection. Part 2: Guide to the use of quartz crystal units for frequency control and selection.

283 (1968): Methods for the measurement of frequency and equivalent resistance of unwanted resonances of filter crystal units.

302 (1969): Standard definitions and methods of measurement for piezoelectric vibrators operating over the frequency range up to 30 MHz.

368-1 (1982): Piezoelectric filters, Part 1: General information, standard values and test conditions.

444: Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network.

FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES

Deuxième partie: Guide d'emploi des filtres piézoélectriques

CHAPITRE III: GUIDE D'EMPLOI DES FILTRES PIÉZOÉLECTRIQUES SECTION UN — FILTRES À QUARTZ

INTRODUCTION

Le besoin de communication conduit dans le monde entier à un développement permanent de liaisons électroniques de plus en plus complexes. Chaque message possède soit un spectre de fréquences ou une caractéristique dans le domaine temps; une certaine forme de filtrage est nécessaire pour leur séparation. De nouvelles méthodes de filtrage ont été mises au point pour répondre à une demande de diminution des coûts et de miniaturisation des équipements.

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 qualité (Q), les caractéristiques de température, le taux 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. De plus, d'autres matériaux sont utilisés (par exemple, tantalate de lithium, niobate de lithium).

1. Domaine d'application

Ce guide a été établi pour répondre à un désir généralement exprimé, tant par les utilisateurs que par les fabricants, de disposer d'un guide d'emploi des filtres à quartz, afin qu'ils puissent être utilisés au mieux. Ce guide n'a pas pour but de développer des notions théoriques ni de couvrir tous les cas qui peuvent se poser en pratique. Ce guide attire l'attention sur quelques-unes des questions fondamentales que l'utilisateur devrait examiner avant de commander un filtre pour une application nouvelle.

Il est du plus grand intérêt pour l'utilisateur que les caractéristiques du filtre soient conformes à une spécification particulière; cependant il y a lieu que le type de résonateur devant répondre à cette spécification soit laissé au choix du fabricant.

2. Filtres à quartz — considérations générales

2.1 Introduction

Les filtres à quartz sont utilisés depuis plus de quarante ans; aussi peuvent-ils être considérés, à l'ère électronique, comme appartenant au passé.

Un filtre à quartz est une forme spéciale de filtre passif dans lequel au moins un des composants est un résonateur à quartz. Les propriétés principales du résonateur à quartz sont: facteur de qualité Q élevé, stabilité en température et dans le temps élevée.

Outre ces stabilités, le filtre à quartz offre les importantes caractéristiques suivantes: encombrement très réduit, propriétés mécaniques et climatiques excellentes.

PIEZOELECTRIC FILTERS

Part 2: Guide to the use of piezoelectric filters

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF PIEZOELECTRIC FILTERS SECTION ONE — QUARTZ CRYSTAL FILTERS

INTRODUCTION

The world continues to move in the direction of more extensive and more complex electronic communication links. Individual messages have either a frequency spectrum or a characteristic in the time domain and some form of filtering process is needed to separate them. New methods of filtering have been developed in response to demands for lower system costs and reduced equipment size.

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. There are two main types of piezoelectric filters: the quartz crystal filter and the ceramic filter. In addition other materials are in use (e.g. lithium tantalate, lithium niobate).

1. Scope

This guide has been compiled in response to a generally expressed desire on the part of both users and manufacturers for guidance on the use of quartz crystal filters so that the crystal filters may be used to their best advantage. It is not the aim of this guide to explain theory, nor to attempt to cover all the eventualities which may arise in practical circumstances. The guide draws attention to some of the more fundamental questions which should be considered by the user before placing an order for a crystal filter for a new application.

It is of prime interest to a user that the filter characteristics should satisfy a particular specification, while the resonators to meet the specification should be at the discretion of the manufacturer.

2. Crystal filters — general synopsis

2.1 Introduction

Crystal filters have been used for more than forty years, so they may already be regarded as old with respect to the electronics era.

A crystal filter is a special form of passive filter in which at least one of the components is a crystal unit (a crystal resonator). The main properties of the crystal resonator are: high quality factor Q , high temperature and time stability.

In addition to the stability properties, important characteristics of crystal filters include very small dimensions and excellent mechanical and climatic properties.

2.2 Termes et définitions

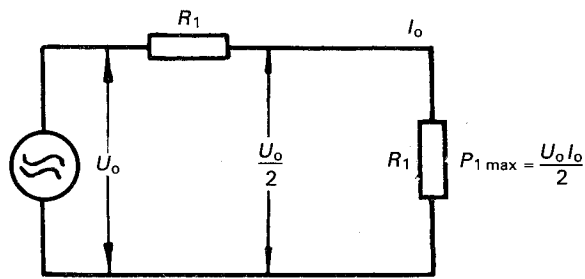
La terminologie exigée pour la définition et l'essai des filtres à quartz est donnée aux articles 3 à 5, Section deux, Chapitre I de la Publication 368-1 de la CEI. Seuls les termes essentiels et leur définition qui sont exigés pour comprendre le texte ci-après sont répétés et expliqués en détail dans ce guide. Voir aussi l'article 4.

2.2.1 Affaiblissement de transmission

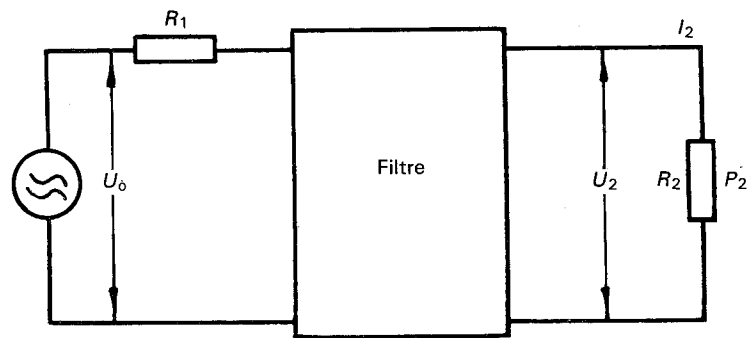
Rapport logarithmique de la puissance disponible d'une source donnée à la puissance que le filtre transmet à une impédance de charge, dans des conditions de fonctionnement spécifiées (voir figure 1 ci-dessous).

$$a_p = 10 \log \frac{P_{1 \max}}{P_2} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$a_p = 20 \log \left| \frac{U_o}{2U_2} \right| + 10 \log \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$



Note. — Cas de définition de $P_{1 \max}$.



315/88

FIG. 1. — Circuit d'essai pour la mesure de l'affaiblissement de transmission.

2.2 Terms and definitions

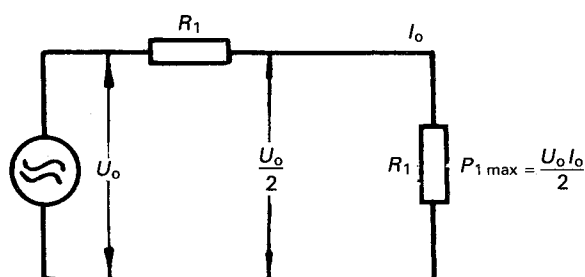
The terms and definitions required for defining and testing crystal filters are provided in IEC Publication 368-1, Chapter I, Section Two, Clauses 3 to 5. Only essential terms and definitions needed for understanding the text to follow will be repeated and explained in detail in this guide. See also Clause 4.

2.2.1 Transducer attenuation

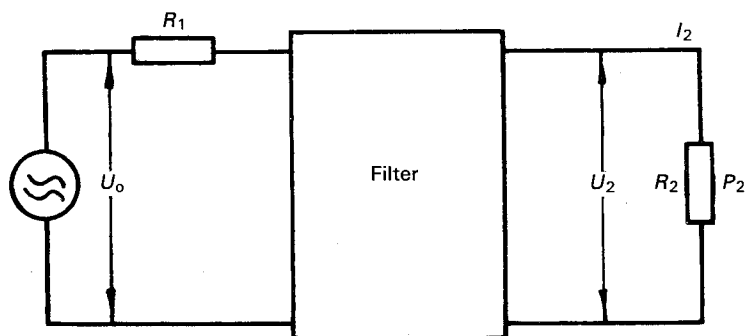
The logarithmic ratio of the available power of the given source to the power that the filter delivers to a load impedance under specified operating conditions (see Figure 1).

$$a_p = 10 \log \frac{P_{1 \max}}{P_2} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$a_p = 20 \log \left| \frac{U_o}{2 U_2} \right| + 10 \log \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$



Note. — Case of definition of $P_{1 \max}$.



315/88

FIG. 1. — Test circuit for the measurement of transducer attenuation.

2.2.2 Affaiblissement d'insertion

Rapport logarithmique de la puissance transmise à l'impédance de charge avant l'insertion du filtre, à la puissance transmise à l'impédance de charge après l'insertion du filtre (voir figure 1A ci-dessous).

$$a_i = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{dB}) \quad (1.1)$$

$$a_i = 20 \log \left| \frac{U_o}{2U_2} \right| + 20 \log \frac{2R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{dB}) \quad (2.1)$$

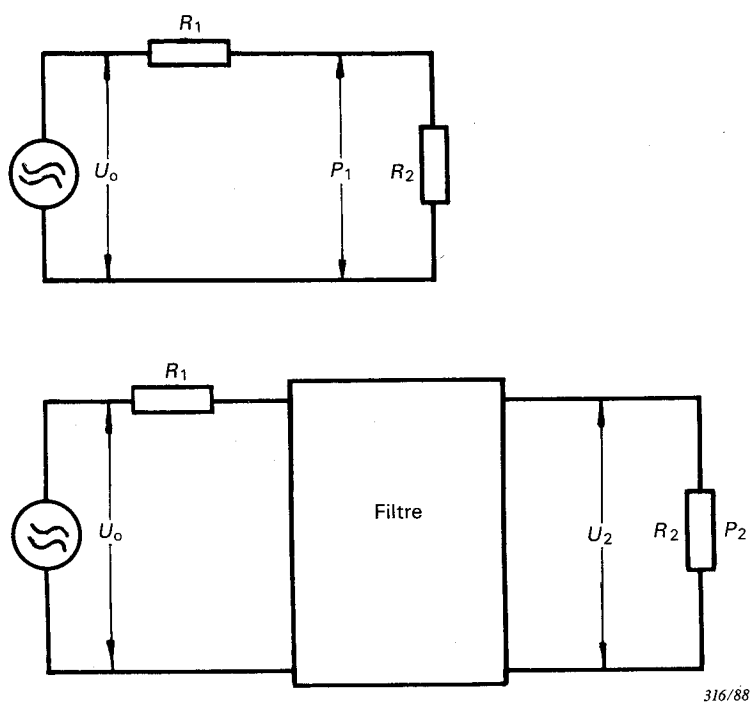


FIG. 1A. — Circuit d'essai pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion.

2.2.2 Insertion attenuation

The logarithmic ratio of the power delivered to the load impedance before insertion of the filter to the power delivered to the load impedance after insertion of the filter (see Figure 1A).

$$a_i = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{dB}) \quad (1.1)$$

$$a_i = 20 \log \left| \frac{U_o}{2U_2} \right| + 20 \log \frac{2R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{dB}) \quad (2.1)$$

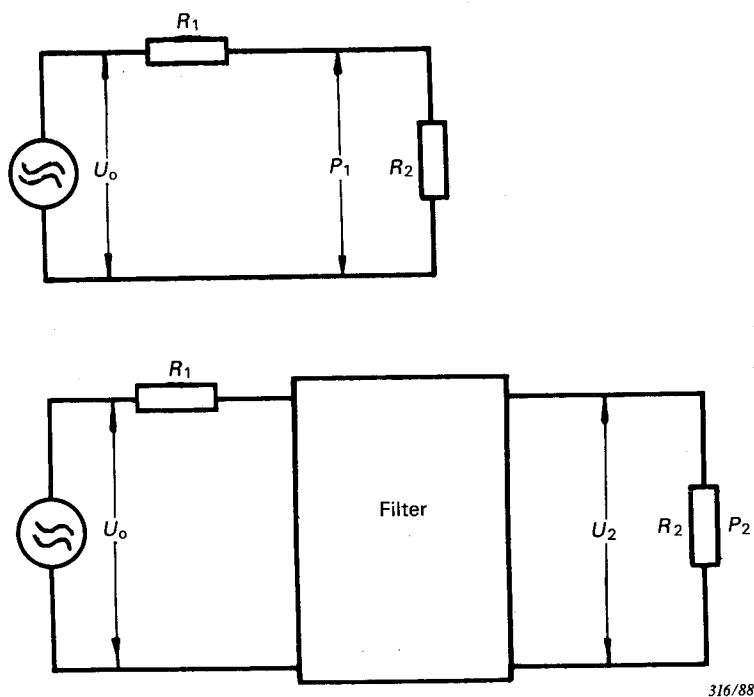
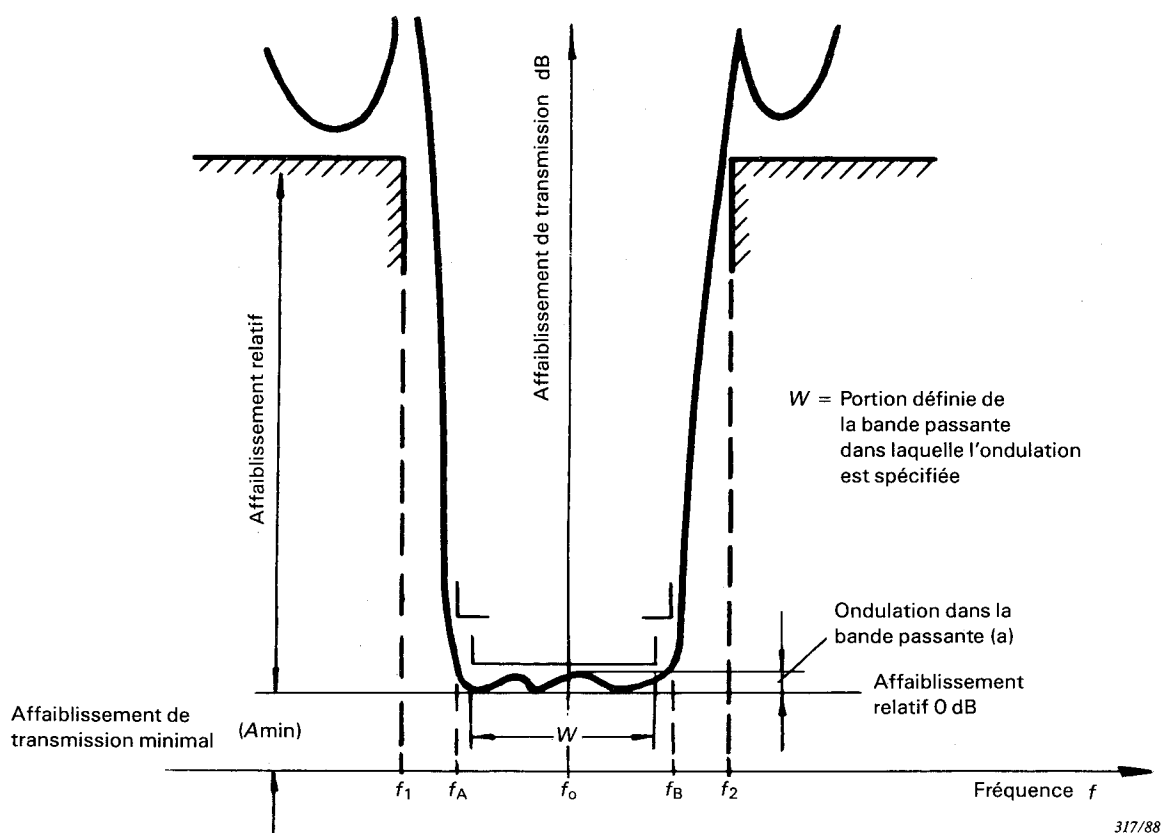


FIG. 1A. — Test circuit for the measurement of insertion attenuation.

La figure 2 ci-dessous montre la forme générale de l'affaiblissement de transmission d'un filtre passe-bande et indique les paramètres les plus importants définissant les caractéristiques d'un filtre.



$$f_0 = \sqrt{f_A \cdot f_B}$$

$$f_0 \cong \frac{f_A + f_B}{2}$$

FIG. 2. — Caractéristiques de l'affaiblissement de transmission d'un filtre.

2.2.3 Affaiblissement d'écho

Valeur réciproque du module du coefficient de réflexion, donné en décibels. Elle est quantitativement égale à:

$$20 \log \left| \frac{Z_a + Z_b}{Z_a - Z_b} \right| \text{ dB}$$

2.2.4 Fréquence de référence

Fréquence définie par la spécification et qui peut être prise comme référence pour d'autres fréquences.

Dans le cas d'un filtre passe-bande avec une caractéristique amplitude-fréquence symétrique, la fréquence de référence est habituellement spécifiée comme la fréquence centrale nominale.

Dans le cas d'un filtre passe-bande avec une caractéristique amplitude-fréquence dissymétrique, la fréquence de référence peut être spécifiée au voisinage d'un bord de la bande passante nominale, telle que la fréquence porteuse intéressée associée à un filtre de bande latérale unique.

Figure 2 shows the general form of the transducer attenuation of a band-pass filter and indicates the most important parameters defining the filter characteristics.

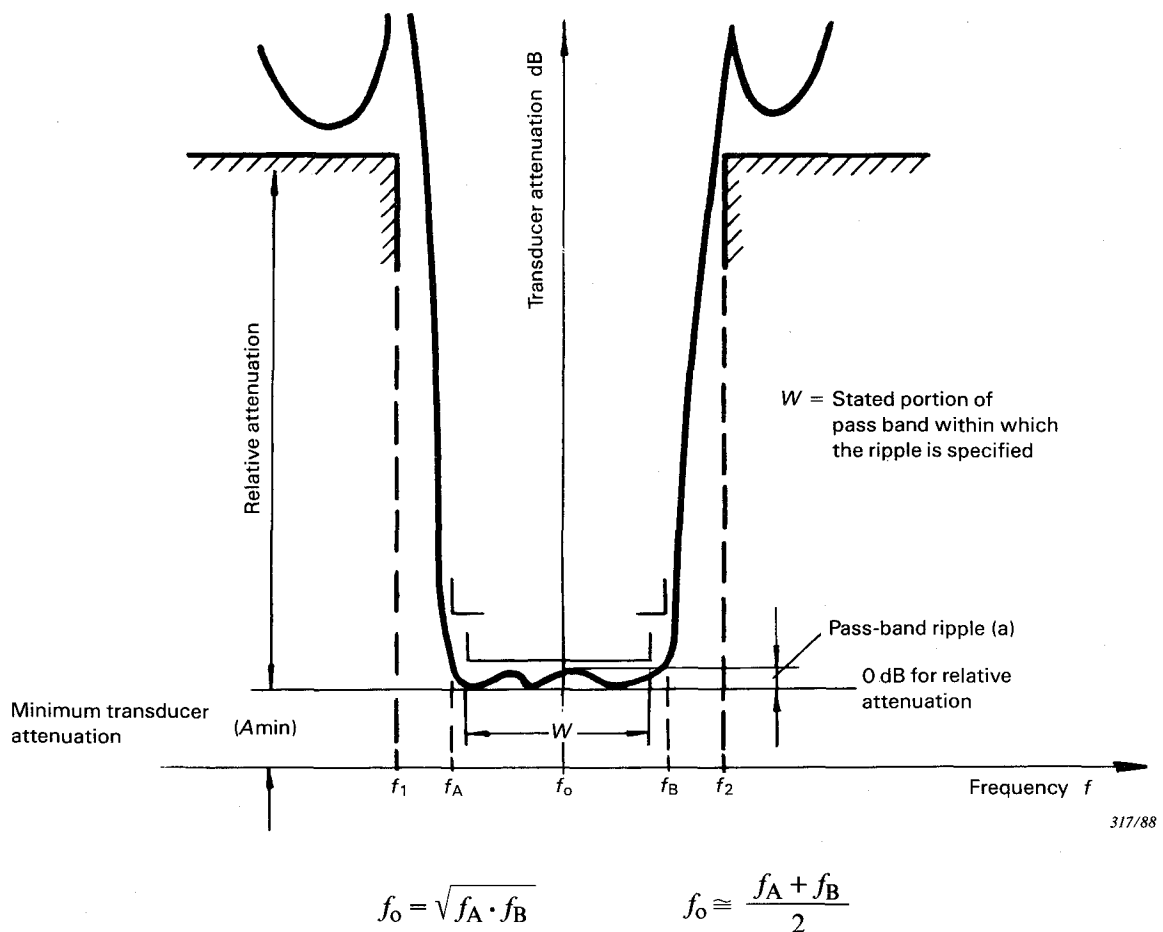


FIG. 2. — Transducer attenuation characteristics of a filter.

2.2.3 Return attenuation

The value of the reciprocal of the modulus of the reflexion coefficient, expressed in decibels. Quantitatively it is equal to:

$$20 \log \left| \frac{Z_a + Z_b}{Z_a - Z_b} \right| \text{ dB}$$

2.2.4 Reference frequency

A frequency defined by the specification to which other frequencies may be referred.

In the case of a band-pass filter with a symmetrical frequency-amplitude characteristic, the reference frequency is usually specified as the nominal mid-band frequency.

In the case of a band-pass filter with an asymmetrical frequency-amplitude characteristic, the reference frequency may be specified near one edge of the nominal pass band, such as the intended carrier frequency associated with a single sideband filter.

2.2.5 Fréquences de coupure de la bande passante

Fréquences de la bande passante pour lesquelles l'affaiblissement relatif atteint une valeur spécifiée (f_A et f_B à la figure 2, page 12).

2.2.6 Bande passante

Bande des fréquences pour lesquelles l'affaiblissement relatif est égal ou inférieur à la valeur spécifiée.

2.2.7 Bande atténuée

Bande des fréquences pour lesquelles l'affaiblissement relatif est supérieur ou égal à des valeurs spécifiées. Les fréquences f_1 et f_2 montrées à la figure 2 sont les valeurs spécifiées des fréquences limites de la bande atténuée.

2.2.8 Bande de transition

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

2.2.9 Ondulation dans la bande passante

Différence entre l'affaiblissement maximal et minimal dans la bande passante ou dans une portion définie de la bande passante.

2.2.10 Facteur de forme du filtre passe-bande

Rapport des deux largeurs de bande pour deux valeurs spécifiées de l'affaiblissement (voir figure 3a). Il est possible de définir deux facteurs de forme d'un filtre ayant des caractéristiques d'amplitude-fréquence dissymétriques (voir figure 3b).

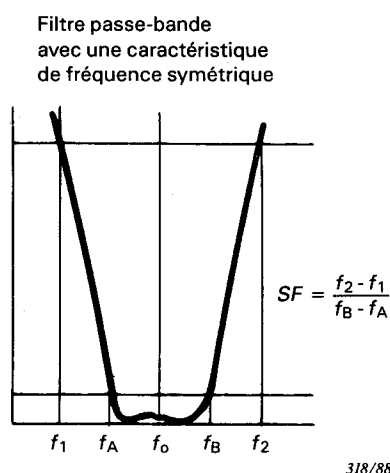


FIG. 3a. — Facteur de forme d'un filtre passe-bande avec une caractéristique de fréquence symétrique.

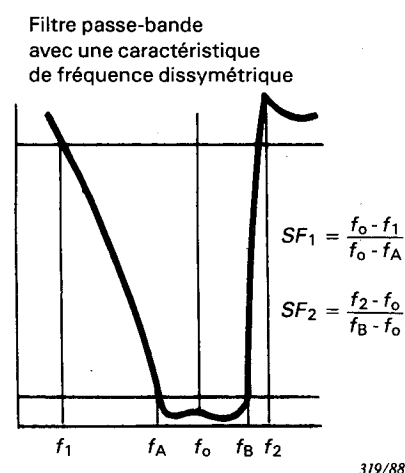


FIG. 3b. — Facteurs de forme d'un filtre passe-bande avec une caractéristique de fréquence dissymétrique.

2.2.11 Déphasage d'insertion

Changement de la phase provoqué par l'insertion du filtre dans le système de transmission.

$$\varphi = \varphi_{\text{sortie}} - \varphi_{\text{entrée}} \text{ [degrés] ou [radians]}$$

2.2.12 Déphasage de transmission

Angle de phase relatif entre la sortie du filtre et la source.

2.2.5 Cut-off frequencies of pass band

Frequencies of the pass band at which the relative attenuation reaches a specified value (f_A and f_B in Figure 2, page 13).

2.2.6 Pass band

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

2.2.7 Stop band

A band of frequencies in which the relative attenuation is equal to or greater than specified values. The frequencies f_1 and f_2 shown in Figure 2 are the specified stop-band edge frequencies.

2.2.8 Transition band

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

2.2.9 Pass-band ripple

The difference between the maximum and minimum attenuation in the pass band or in a specified portion of the pass band.

2.2.10 Shape factor of a band-pass filter

The ratio of the two bandwidths at two specified values of attenuation (Figure 3a). It is possible to define two shape factors of a filter with asymmetrical amplitude-frequency characteristics (Figure 3b).

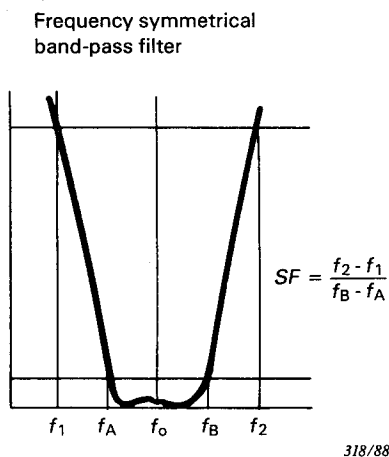


FIG. 3a. — Shape factor for frequency symmetrical band-pass filter.

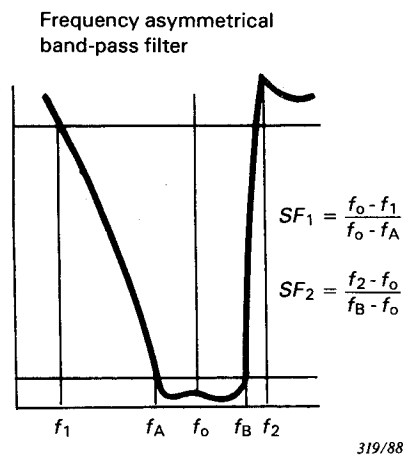


FIG. 3b. — Shape factors for frequency asymmetrical band-pass filter.

2.2.11 Insertion phase shift

Change in phase caused by the insertion of the filter into a transmission system.

$$\varphi = \varphi_{\text{out}} - \varphi_{\text{in}} \text{ [degrees] or [radians]}$$

2.2.12 Transducer phase

Relative angle of the phase between the output of the filter and the source.

2.2.13 *Linéarité de phase*

Déviation maximale de la caractéristique de déphasage de transmission dans la bande passante de la caractéristique de déphasage de transmission, exprimée en termes de dépendance linéaire.

2.2.14 *Retard de groupe ou de boucle*

Temps de propagation du groupe, qui est égal à la dérivée première du déphasage, en radians, par rapport à la fréquence angulaire de l'onde sinusoïdale considérée à la fréquence spécifiée

$$t_g \simeq \frac{d\varphi}{d\omega} \quad [s] \quad \omega = 2\pi f$$

2.2.15 *Distorsion de retard de groupe*

Différence entre la valeur la plus basse et la valeur la plus élevée du retard de groupe dans une bande passante spécifiée

$$\Delta t_g = |t_{g \max} - t_{g \min}| \quad [s]$$

2.3 *Types de filtres*

Les filtres à quartz peuvent être classés selon:

- le comportement de la caractéristique d'amplitude;
- l'application;
- le mode de réalisation.

2.3.1 *Classification selon le comportement de la caractéristique de l'amplitude en fonction de la fréquence*

Les filtres à quartz sont classés en quatre groupes: filtres passe-bas, filtres passe-haut, filtres passe-bande, filtres coupe-bande.

2.3.2 *Classification selon l'application*

Les filtres à quartz sont largement utilisés dans de nombreuses applications; aussi est-il assez difficile de donner une liste générale de ces applications. La figure 4, page 18, donne la classification des filtres à quartz en trois groupes principaux, et leurs sous-groupes, selon l'application.

En communication portative mobile ainsi que dans les récepteurs-transmetteurs portatifs, les filtres classiques, différentiels et monolithiques sont largement utilisés comme filtres passe-bande à une voie et à bande latérale unique dans les systèmes de transmission multiplex à répartition en fréquence. En outre, les filtres à quartz sont largement utilisés comme filtres pilotes dans les systèmes de téléphonie.

En communication mobile, les filtres à quartz classiques et monolithiques sont utilisés comme filtres de fréquence intermédiaire non seulement dans les récepteurs à conversion de fréquence unique mais aussi dans les récepteurs à double conversion de fréquence. L'application des filtres à quartz la plus extensive se rencontre dans les étages de fréquence intermédiaire avec espacement entre voies de 12,5 — 20 — 25 — 50 et 100 kHz (100 kHz n'est pratiquement plus utilisé maintenant).

Les bandes passantes sont spécifiées suffisamment larges pour recevoir les signaux acoustiques à la fréquence porteuse sous conditions de température changeante et d'erreurs sur les fréquences des oscillateurs non seulement du transmetteur mais aussi du récepteur. Les erreurs admissibles de ces fréquences sont habituellement prescrites par les autorités compétentes.

2.2.13 *Phase linearity*

Maximum deviation of the transducer phase characteristic in the pass band from the transducer phase characteristic expressed in terms of linear dependence.

2.2.14 *Group or envelope delay*

The time of propagation of the group which is equal to the first derivative of the phase shift, in radians, with respect to the angular frequency of the sinusoidal wave concerned at a specified frequency

$$t_g \simeq \frac{d\varphi}{d\omega} \quad [s] \quad \omega = 2\pi f$$

2.2.15 *Group delay distortion*

The difference between lowest and highest value of group delay in a specified frequency band

$$\Delta t_g = |t_{g \max} - t_{g \min}| \quad [s]$$

2.3 *Filter types*

Crystal filters may be classified according to:

- amplitude characteristic behaviour;
- application;
- realization mode.

2.3.1 *Classification according to the behaviour of the amplitude characteristic as a function of frequency*

Crystal filters are classified into four groups: low-pass filters, high-pass filters, band-pass filters and band-stop filters.

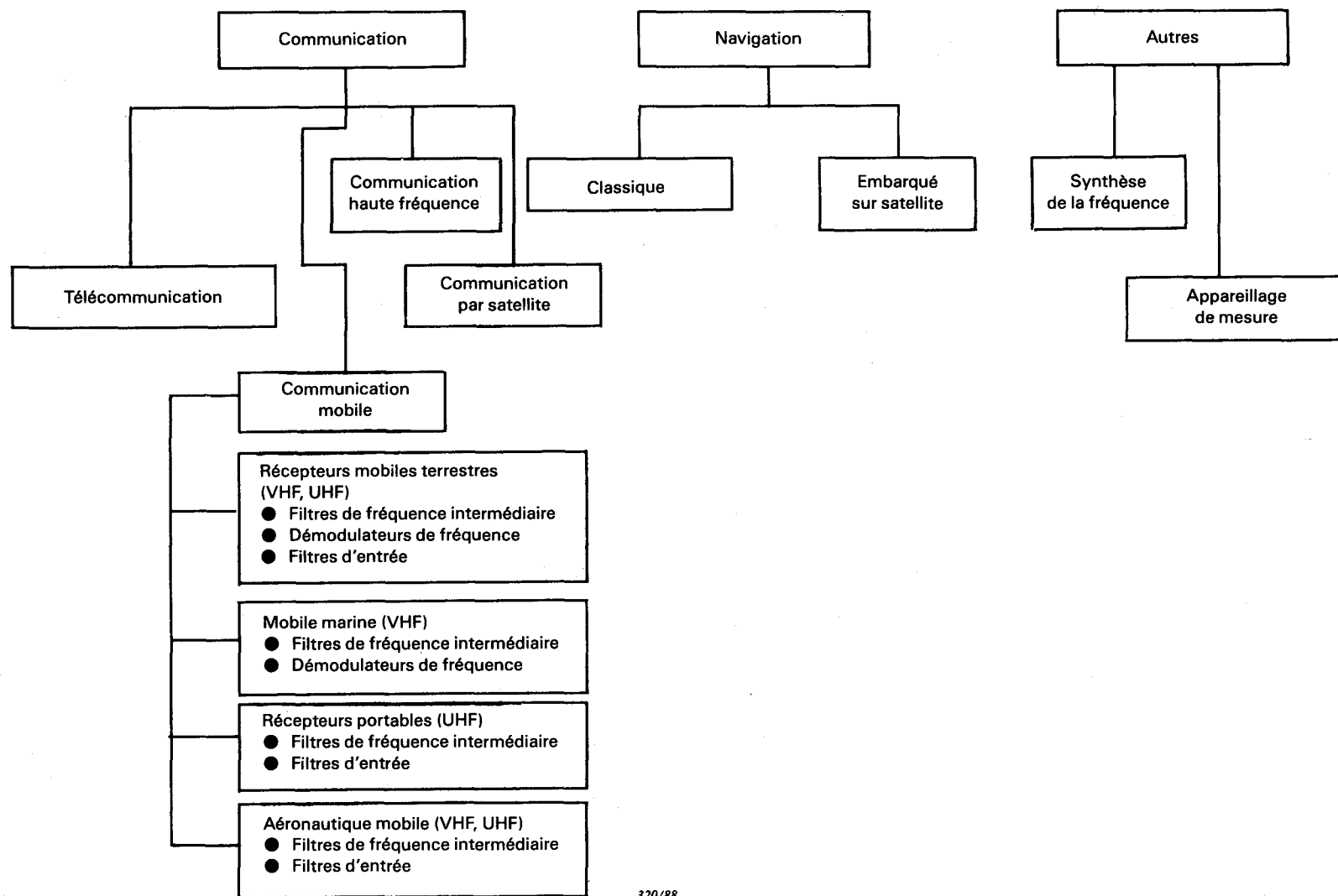
2.3.2 *Classification according to application*

Crystal filters are used in a wide variety of applications and it is therefore rather difficult to generalise. Figure 4, page 19, gives a classification of crystal filters into three major groups and their subgroups according to application.

In portable and mobile communication as well as in paging receivers, conventional, hybrid, and monolithic crystal filters are extensively employed as single-channel single-sideband band-pass filters in frequency-diversity multiplex transmission systems. In addition, crystal filters are widely used as pilot filters in telephony systems.

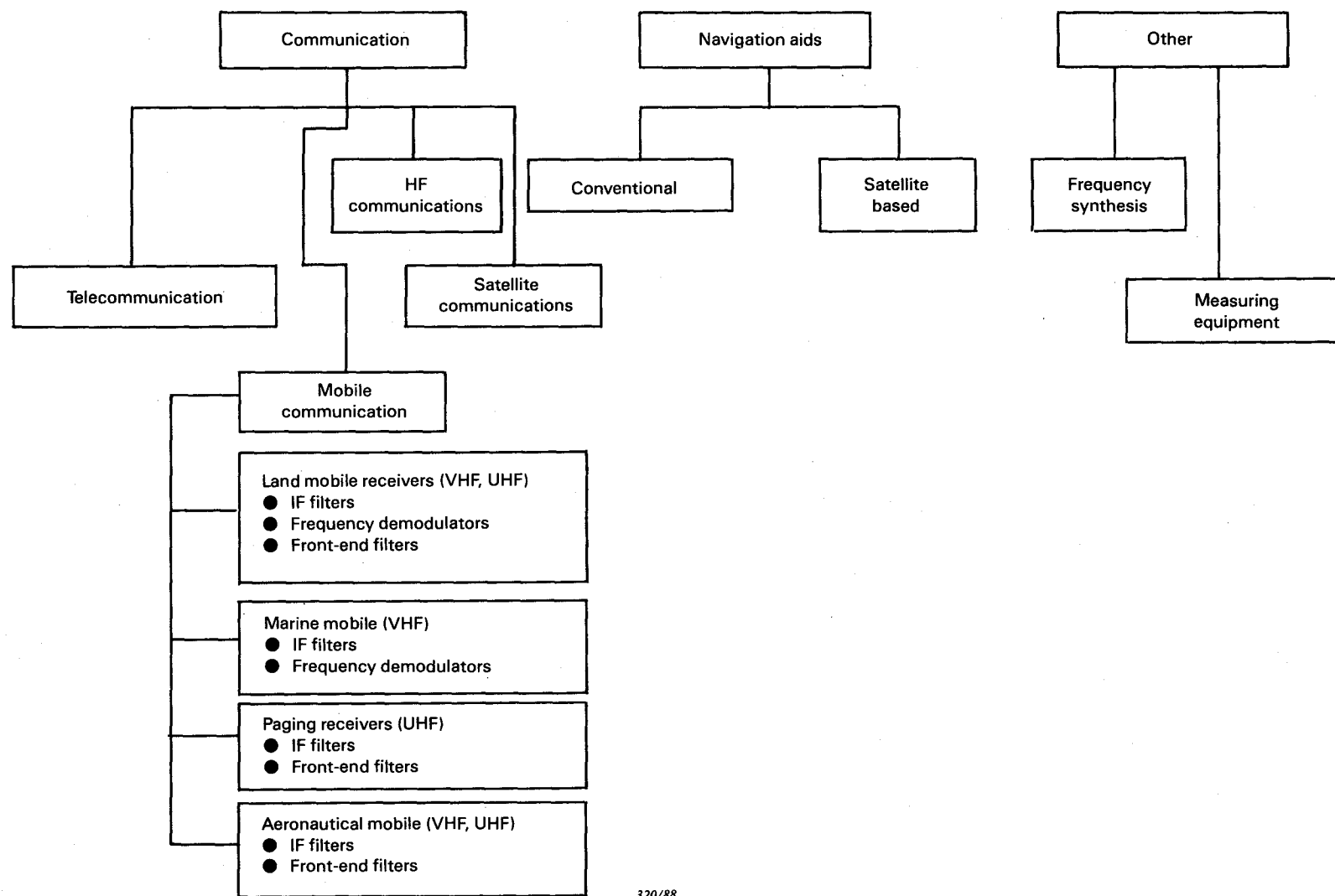
In mobile communications, conventional and monolithic crystal filters are used in IF filters in both single and double conversion receivers. The most extensive application of crystal filters is seen in IF stages with 12.5 — 20 — 25 — 50 and 100 kHz channel spacings (100 kHz is practically no longer in use).

Pass bandwidths are specified wide enough to receive the audio signals on the carrier under conditions of varying temperature and errors in both transmitter and receiver oscillator frequencies. The permissible errors of these frequencies are normally laid down by the responsible authorities.



320/88

FIG. 4. — Classification selon l'application.



320/88

FIG. 4. — Classification according to application.

Les équipements de communication portatifs et mobiles utilisent habituellement la modulation de fréquence; l'affaiblissement dans la bande atténuée ainsi que celui dans la bande de transition sont déterminés par la position de la voie adjacente et sa stabilité de fréquence dans un spectre de fréquences produit par une modulation de signal superposée.

L'application dans les appareils à bande latérale unique et dans ceux à onde modulée manipulée est également d'une grande importance. Dans ces cas les filtres peuvent avoir une caractéristique de l'affaiblissement soit symétrique soit dissymétrique selon que l'équipement utilise une fréquence porteuse unique ou deux fréquences porteuses en alternance, de part et d'autre de la bande passante.

Les filtres monolithiques à deux pôles sont utilisés dans les circuits de démodulation de fréquence des récepteurs mobiles terrestres à bande étroite fonctionnant en modulation de la fréquence.

Dans les systèmes de téléphonie à fréquence porteuse, les filtres monolithiques sont aussi utilisés comme filtres coupe-bande pour l'élimination des fréquences pilotes; comme options en service mobile terrestre et aéronautique, les filtres monolithiques VHF et les filtres monolithiques en tandem sont utilisés comme présélecteurs d'entrée.

Une application très importante des filtres à quartz dans les aides à la navigation se rencontre dans les équipements radar. La caractéristique la plus spécifiée des filtres à quartz utilisés dans les radars est la linéarité de phase. Celle-ci doit être d'environ 1% à 2%. La demande pour une telle caractéristique a eu comme résultat la création d'un système de mesure spécial qui permet de vérifier le temps de propagation.

Les filtres à caractéristique de phase contrôlée sont spécialement essayés pour les applications de poursuite de phase et dans ce cas la différence entre les filtres ne doit pas être supérieure à 5°.

Enfin, les filtres à quartz sont largement utilisés en groupes réunissant jusqu'à 100 filtres passe-bande identiques connectés en parallèle. Un tel système est nommé «filtre en peigne».

Ce terme s'applique aux filtres élémentaires d'ordre deux — ou quatre — qui séparent le spectre de fréquences radar en N bandes, ce qui donne la possibilité de faire l'analyse détaillée d'un spectre de fréquences.

2.3.3 Classification selon la construction

La conception d'un filtre combine:

- la forme du réseau électrique selon lequel le filtre est réalisé;
- le type de la fonction caractéristique sur la base de laquelle le filtre est réalisé;
- la technologie de construction.

Le premier et le troisième point seront considérés plus en détail.

2.3.3.1 Forme du réseau électrique d'un filtre à quartz

En général les filtres à quartz sont réalisés comme:

- a) réseau en treillis (voir figure 5, page 22).
- b) réseau en échelle (voir figure 6, page 22).

Le réseau en treillis est une forme largement utilisée de réseau électrique pour les filtres à quartz. En réalisation pratique, le réseau de la figure 5 est arrangé comme une section de filtre en demi-treillis ou sous la forme appelée Jaumann (voir figure 7, page 22).

Le réseau en échelle est utilisé exclusivement pour les filtres à quartz à largeur de bande très étroite, pour les filtres à quartz à caractéristique de fréquence dissymétrique (filtres BLU) et pour les filtres monolithiques montrés à la figure 9a, page 24.

Portable and mobile communication equipment normally uses frequency modulation and the 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 the superimposed signal modulation.

Single sideband and keyed equipment is also of great importance. In these cases the filters 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.

Two-pole monolithic filters are used in frequency demodulation circuits in narrow-band f.m. land mobile receivers.

In carrier telephone systems, monolithic filters are also used as band-stop filters for pilot rejection; as field-installed options in land and aeronautical mobile services, VHF monolithic and tandem monolithic filters are used as front-end preselectors.

A very important application of crystal filters to navigation aids is seen in radar equipment. The most specified characteristic of crystal filters used in radar applications is phase linearity. This phase linearity should be about 1% to 2%. The demands for such a characteristic have resulted in the creation of a special measurement system which allows the verification of propagation time.

Filters with controlled phase characteristic are specially tested for phase tracking and in such cases the difference between filters must not exceed 5°.

Finally, crystal filters are widely used as groups consisting of up to 100 identical band-pass filters in parallel. These are called "comb filters".

The term refers to elementary second — or fourth — order filters which separate the radar frequency spectrum into a number of bands, N , thus enabling detailed frequency spectrum analysis to be performed.

2.3.3 *Classification according to design*

The design of a filter covers:

- the form of the electrical network according to which a filter is designed;
- the type of the characteristic function on the basis of which a filter is designed;
- the mode of technological construction.

The first and the third of these will be considered in more detail.

2.3.3.1 *Form of electrical network of crystal filter*

In general, crystal filters are realized as:

- a) lattice network (Figure 5, page 23).
- b) ladder network (Figure 6, page 23).

The lattice network is a widely used form of electrical network for crystal filters. In practical realization, the network of Figure 5 is arranged as a half-lattice filter section or the so-called Jaumann form (Figure 7, page 23).

The ladder network is used exclusively for very narrow pass bandwidth crystal filters and for crystal filters with frequency-asymmetrical characteristic (SSB filters) and monolithic filters as shown in Figure 9a, page 25.

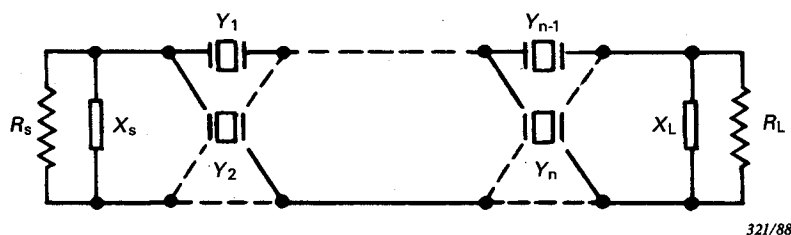


FIG. 5. — Filtre à quartz en treillis.

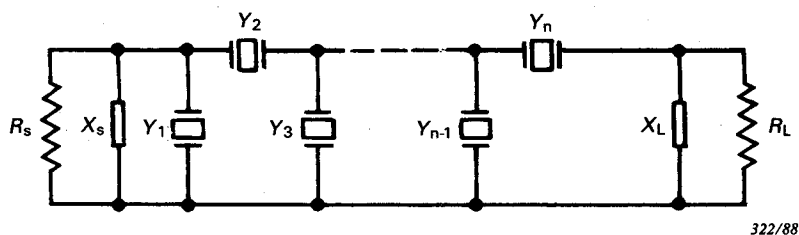


FIG. 6. — Filtre à quartz en échelle.

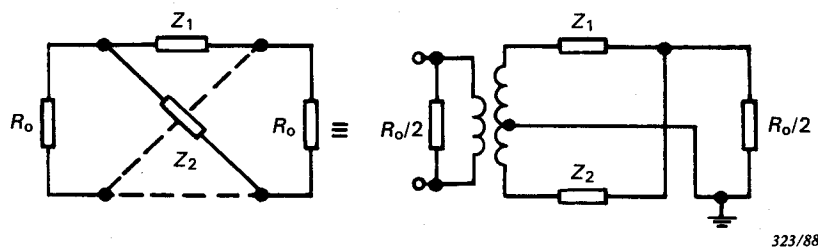


FIG. 7. — Filtre à quartz en demi-treillis (filtre Jaumann).

2.3.3.2 Mode technologique de construction

En pratique, les filtres à quartz sont réalisés comme:

- filtres à quartz classiques;
- filtres à quartz monolithiques.

Les filtres à quartz classiques sont composés de résonateurs à quartz, de transformateurs et de condensateurs. Les filtres utilisés en pratique sont fabriqués par montage en série de sections comme il est montré à la figure 8, page 24, en utilisant un quartz classique à résonateur unique. Les sections ne sont pas habituellement égales et sont interconnectées par condensateurs parallèles comme il est montré à la figure 9b, page 24; ces capacités peuvent servir à compenser la capacité parallèle C_o des résonateurs à quartz. Toutefois, ces capacités parallèles varient inversement, en fonction de la largeur de bande relative du filtre, ce qui fixe une largeur maximale possible de bande pour un type donné de résonateur à quartz.

Dans la plupart des cas les filtres monolithiques sont réalisés par un montage tandem de sections comme il est montré à la figure 9a; ces sections sont interconnectées de la manière montrée à la figure 9b. Ces filtres sont aussi appelés «filtres polylithiques».

Les avantages les plus importants des filtres monolithiques sur les filtres à quartz classiques sont les suivants:

- un transformateur différentiel n'est pas exigé comme dans le cas des constructions classiques;