

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 122-2

Première édition — First edition

1962

Quartz pour oscillateurs

Section trois: Guide d'emploi des quartz pour oscillateurs

Quartz crystal units for oscillators

Section three: Guide to the use of quartz oscillator crystals



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 122-2

Première édition — First edition

1962

Quartz pour oscillateurs

Section trois: Guide d'emploi des quartz pour oscillateurs

Quartz crystal units for oscillators

Section three: Guide to the use of quartz oscillator crystals



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION TROIS — GUIDE D'EMPLOI DES QUARTZ POUR OSCILLATEURS	
3.1 Introduction	6
3.1.1 Domaine d'application du document	8
3.1.2 Préambule technique	8
3.2 Classification des boîtiers de quartz	10
3.2.1 Boîtiers	12
3.2.2 Connexions aux quartz	12
3.2.3 Montage	12
3.2.4 Interchangeabilité des quartz	14
3.3 Fréquence	14
3.3.1 Modes de vibration et gammes de fréquence	14
3.3.2 Quartz fonctionnant sur partiel	16
3.4 Variation de la fréquence en fonction de la température	18
3.4.1 Courbes paraboliques	18
3.4.2 Courbes relatives à la coupe AT	20
3.4.3 Spécification de la tolérance de fréquence et plages de température de fonctionnement	20
3.5 Relations entre la stabilité en fréquence et les conditions d'emploi du cristal	22
3.5.1 Facteurs affectant la stabilité en fréquence	22
3.5.2 Types d'oscillateurs	22
3.5.3 Capacité de charge	28
3.5.4 Activité du cristal	30
3.5.5 Niveau d'excitation	32
3.6 Conditions spéciales	34
3.6.1 Variation totale de fréquence dans la plage de température de fonctionnement	34
3.6.2 Variation de fréquence en dehors de la plage de température de fonctionnement	34
3.6.3 Glissement de fréquence	34
3.6.4 Niveau élevé d'excitation	36
3.6.5 Commutation et manipulation	36
3.6.6 Cristaux fonctionnant en résonance série sur le mode fondamental	38
3.6.7 Conditions climatiques et mécaniques extrêmes	38
3.6.8 Marquage	38
3.7 Méthodes de mesure et conditions d'essai	38
3.8 Données techniques destinées à accompagner la feuille de commande	38
3.9 Bibliographie	40
3.10 Définitions	42

Les publications connexes sont:

La Publication 122-1 de la C.E.I.

Section un: Valeurs et conditions normalisées

Section deux: Conditions de mesure et d'essais

La Publication 122-3 de la C.E.I.

Section quatre: Encombrements normaux

Section cinq: Connexions des broches

Section six: Feuilles particulières

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION THREE—GUIDE TO THE USE OF QUARTZ OSCILLATOR CRYSTALS	
3.1 Introduction	7
3.1.1 Scope of document	9
3.1.2 Technical preamble	9
3.2 Crystal holder classification	11
3.2.1 Holders	13
3.2.2 Crystal connections	13
3.2.3 Mounting	13
3.2.4 Replacement of crystal units.	15
3.3 Frequency	15
3.3.1 Modes of vibration and frequency ranges	15
3.3.2 Overtone crystal units	17
3.4 Frequency/temperature dependence	19
3.4.1 Parabolic curves	19
3.4.2 The AT-cut curve	21
3.4.3 Specifying frequency tolerance and operating temperature range	21
3.5 Frequency stability related to the conditions of using the crystal unit	23
3.5.1 Factors affecting the frequency stability	23
3.5.2 Types of oscillators	23
3.5.3 Load capacitance	29
3.5.4 Crystal unit activity	31
3.5.5 Level of drive	33
3.6 Special requirements	35
3.6.1 Total frequency variation over the operating temperature range	35
3.6.2 Frequency variation outside the operating temperature range	35
3.6.3 Frequency pulling	35
3.6.4 High level of drive	37
3.6.5 Switching and keying	37
3.6.6 Series resonance operation of fundamental crystals	39
3.6.7 Climatic and mechanical extremes	39
3.6.8 Marking	39
3.7 Measuring methods and test conditions	39
3.8 Technical data to accompany order form	39
3.9 Bibliography	41
3.10 Glossary of terms	43

Related publications are:

I.E.C. Publication 122-1

Section one: Standard values and conditions

Section two: Test conditions

I.E.C. Publication 122-3

Section four: Standard outlines

Section five: Pin connections

Section six: Article sheets.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

QUARTZ POUR OSCILLATEURS

Section trois: Guide d'emploi des quartz pour oscillateurs

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. 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 cette unification internationale, la C.E.I. exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C.E.I. dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.
- 5) La C.E.I. n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Sous-Comité 40-3: Cristaux piézoélectriques (remplacé maintenant par le Comité d'Etudes N° 49: Cristaux piézoélectriques et dispositifs associés).

Elle constitue la deuxième partie des recommandations de la C.E.I. pour les quartz pour oscillateurs.

La première partie, contenant la Section un: «Valeurs et conditions normalisées» et la Section deux: «Conditions de mesure et d'essais» fait l'objet de la Publication 122-1 de la C.E.I.

La troisième partie, contenant la section quatre: «Encombrements normaux», la section cinq: «Connexions des broches» et la section six: «Feuilles particulières» fait l'objet de la Publication 122-3 de la C.E.I.

Lors de sa réunion tenue à Zurich en 1957, le Sous-Comité 40-3 décida que les travaux avaient atteint un stade suffisamment avancé pour permettre la diffusion d'un projet aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois. Ce projet fut diffusé en avril 1960.

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

Allemagne	Pays-Bas
Belgique	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
France	Suisse
Italie	Tchécoslovaquie
Japon	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Norvège	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

QUARTZ CRYSTAL UNITS FOR OSCILLATORS

Section Three: Guide to the use of quartz oscillator crystals

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. 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 this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.
- 5) The I.E.C. has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

This publication has been prepared by Sub-Committee 40-3: Piezo-electric crystals (now superseded by Technical Committee No. 49: Piezo-electric crystals and associated devices).

It forms Part 2 of the I.E.C. recommendations for quartz crystals for oscillators.

The first part, consisting of Section one: "Standard values and conditions", and Section two: "Test conditions" is issued as I.E.C. Publication 122-1.

Part 3, consisting of Section four: "Standard outlines", Section five: "Pin connections" and Section six: "Article sheets" is issued as I.E.C. Publication 122-3.

At the Zurich meeting of Sub-Committee 40-3 in 1957 it was decided that the work was sufficiently advanced for a draft to be submitted to the National Committees for approved under the Six Months' Rule. A draft was accordingly circulated in April 1960.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Norway
Czechoslovakia	Romania
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

QUARTZ POUR OSCILLATEURS

SECTION TROIS — GUIDE D'EMPLOI DES QUARTZ POUR OSCILLATEURS

3.1 INTRODUCTION

Ce document a été établi pour répondre à un désir généralement exprimé, tant par les usagers que par les constructeurs, d'un guide d'emploi des quartz pour oscillateurs, afin qu'ils puissent être utilisés au mieux. L'erreur la plus commune a été celle faite par quelques usagers qui pensaient que le cristal est un dispositif qui détermine, de façon absolue, la fréquence. Cette idée s'est maintenue, probablement du fait que les tolérances de fréquence des anciens équipements étaient suffisamment larges pour masquer les variations de fréquence entraînées par les caractéristiques du circuit associé.

Les résultats obtenus avec un quartz dépendent en grande partie de la fabrication du quartz lui-même. Les résultats qu'il donne peuvent, en pratique, être sérieusement modifiés ou amoindris lorsqu'il est associé à un matériel sans que l'on tienne préalablement compte de l'effet de leur association. Il se peut que, dans bien des cas, on ne se rende pas compte que de petites variations de l'impédance d'entrée d'un oscillateur peuvent se traduire par une modification de la fréquence d'oscillation qui va au-delà des limites admissibles. Ceci peut être dû, par exemple, à l'«effet Miller».

On admet généralement qu'un cristal se brisera sous l'effet d'un niveau d'excitation trop élevé. On se rend moins compte que le fonctionnement à des niveaux qui ne sont pas suffisants pour le briser peut, cependant, provoquer une élévation de température excessive dans le cristal lui-même. L'excitation à un niveau supérieur à celui qui est spécifié pour le cristal peut provoquer une élévation de température telle, que la fréquence de fonctionnement se trouvera être en dehors des limites spécifiées. De plus, des gradients de température peuvent se produire à l'intérieur de la lame provoquant des dérives de fréquences qui peuvent souvent être supérieures à celles qui sont provoquées par l'élévation de température de la totalité de la lame. Des niveaux élevés d'excitation ont également tendance à créer ou à renforcer les effets des fréquences parasites.

Dans les conditions normales, la fréquence d'oscillation du cristal ne change pas sensiblement avant et après une courte période d'utilisation. Lorsque le niveau d'excitation dépasse le niveau admissible relatif au type de cristal considéré, on trouve fréquemment qu'un changement de fréquence permanent et fini peut se produire en quelques minutes de fonctionnement. Des effets de ce genre peuvent avoir diverses causes: par exemple, un déplacement permanent de la structure cristalline du quartz due à une contrainte mécanique excessive, le manque d'élasticité du système de montage ou un endommagement de la surface ayant pour cause les accélérations énormes auxquelles sont soumises les particules du quartz ou des électrodes. (Ces accélérations peuvent atteindre 10^6 g). Pour quelques types de quartz, on peut trouver que l'activité dépend également du niveau d'excitation. Etant donné que le constructeur a essayé le cristal au niveau d'excitation spécifié on aura pour ce niveau une activité minimum déterminée.

De ce qui précède, il ressort clairement qu'il faut apporter un grand soin à la réalisation de l'oscillateur pour assurer au cristal un fonctionnement où le niveau d'excitation est aussi voisin que possible de la valeur spécifiée. Dans les cas où une très haute stabilité en fréquence est demandée, on devra choisir des cristaux conçus pour fonctionner avec de faibles niveaux d'excitation.

QUARTZ CRYSTAL UNITS FOR OSCILLATORS

SECTION THREE — GUIDE TO THE USE OF QUARTZ OSCILLATOR CRYSTALS

3.1 INTRODUCTION

This document has been compiled in response to a generally expressed desire on the part of both user and manufacturer for a guide to the use of quartz oscillator crystals, so that the crystal units may be used to their best advantage. The most common error has been the assumption on the part of some users that the crystal unit is an absolute frequency-determining device. This idea has persisted, probably due to the fact that the frequency tolerances in earlier equipment were sufficiently wide to swamp any frequency variations imposed by the associated circuit conditions.

The performance of a quartz crystal unit is governed largely by the design of the crystal element. Its behaviour may, in practice, be seriously modified or impaired when the unit is associated with equipment without prior consideration of the effects of the combination. It may not be generally realized that small variations of the input impedance of an oscillator can result in modification of the frequency of oscillation beyond the permissible limits. This may be due, for example, to "Miller effect".

It is usually accepted that a crystal element will fracture as a result of serious electrical overdrive. It is much less appreciated that operation at levels insufficient to cause fracturing may yet cause excessive temperature rise in the crystal element. Driving at a higher level than that specified for the crystal unit may cause a temperature rise such that the working frequency will be taken outside the specified limits. In addition temperature gradients within the plate may be created, leading to frequency shifts which can often be larger than those caused by the temperature rise of the plate as a whole. High drive levels also tend to create or enhance the effects of unwanted responses.

In normal circumstances the oscillation frequency of the unit before and after a short period of use is substantially unchanged. With a level of drive in excess of the rated level for the type, it is frequently found that a permanent finite change in frequency has occurred, perhaps within a few minutes of operating time. Effects of this nature may be due to various causes, for example, permanent displacement of the lattice structure of the quartz as the result of excess mechanical strain, inelastic properties of the mounting system, or surface damage resulting from the enormous accelerations imparted to the quartz or electrode particles (these accelerations may reach 10^6 g). For some types of crystal units it may be found that the activity is also dependent on the level of drive. Since the manufacturer will have tested the crystal unit at the rated level of drive the specified minimum activity will apply at that level.

From the foregoing, it is clear that considerable care is required in the oscillator design to ensure that crystal units are operated as near as possible at their rated levels of drive. In cases where the highest frequency stability is required crystals should be selected which are designed to operate at low levels of drive.

3.1.1 Domaine d'application du document

Le but de ce court document n'est pas de développer des notions théoriques ou d'essayer de couvrir tous les cas qui peuvent se présenter en pratique. Son but est seulement d'attirer l'attention sur quelques-uns des problèmes les plus fondamentaux que l'utilisateur devrait prendre en considération avant de commander un cristal pour une nouvelle application. Une telle façon de procéder évitera à l'utilisateur un fonctionnement non satisfaisant.

Certaines combinaisons de caractéristiques qui sont discutées dans ce guide sont impossibles à atteindre; pour cette raison, on devrait utiliser au maximum les feuilles particulières.

Dans les cas spéciaux, la conception exacte du cristal devra être, en grande partie, laissée aux soins du constructeur, qui s'efforcera, dans les limites du possible, de satisfaire aux exigences de l'utilisateur.

Les feuilles particulières normalisées, telles que celles de la Recommandation de la C.E.I. dont ce guide fait partie, ainsi que les Spécifications Nationales ou les feuilles de caractéristiques publiées par un constructeur, détermineront les combinaisons possibles de tolérance de fréquence, de plage de température et de capacité de charge, l'ordre du partiel dans le cas de cristaux fonctionnant sur un mode partiel et la nature du fonctionnement (série ou parallèle). En outre, chaque feuille spécifiera le niveau maximal d'excitation et la résistance parallèle équivalente minimale ou la résistance série équivalente maximale en fonction de la fréquence du cristal. Ces feuilles ont été soigneusement groupées pour couvrir une vaste gamme de quartz possédant des caractéristiques et des dimensions normalisées, et l'on ne peut trop insister sur le fait que l'utilisateur devrait, partout où cela est possible, choisir ces cristaux à partir de ces feuilles, même si cela peut l'amener à faire de légères modifications à son circuit pour permettre l'emploi d'éléments normalisés.

Une multiplicité de types ne différant qu'à un faible degré n'est pas économique et restreint l'interchangeabilité.

La normalisation est en évolution continue et lorsque de nouveaux besoins se présentent, de nouvelles feuilles sont élaborées pour satisfaire à ces besoins, après examen minutieux par la Commission Electrotechnique Internationale.

3.1.2 Preamble technique

Tout système piézoélectrique faiblement amorti, vibrant mécaniquement et excité par des électrodes formant dipôle peut, au voisinage de la résonance, être représenté par un circuit électrique équivalent (figure 1). Ce circuit comprend une capacité C_1 , une inductance L_1 et une résistance R_1 en série, shuntées par une seconde capacité C_0 . Les trois premiers paramètres C_1 , L_1 et R_1 peuvent être appelés les «paramètres dynamiques du cristal».

Ce sont les paramètres fondamentaux du résonateur piézoélectrique.

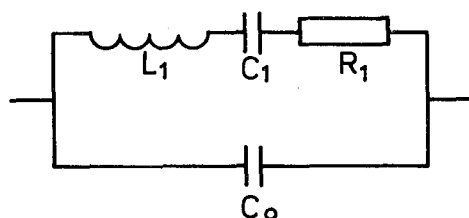


FIG. 1. — Circuit équivalent au cristal

3.1.1 Scope of document

It is not the function of this brief document to explain theory, nor to attempt to cover all the eventualities which may arise in practical circumstances. It does draw 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.

Certain combinations of the characteristics discussed in this guide are impossible to achieve. For this reason, maximum use should be made of available article sheets.

In special cases, the exact design of a crystal unit must be left largely to the manufacturer, who will endeavour to meet the customer's requirements where practicable.

Standard article sheets, such as those of the I.E.C. Recommendation of which this guide forms a part and National Specifications or the data sheets issued by the manufacturer, will define the available combinations of frequency tolerance, temperature range and load capacitance, the overtone order in the case of overtone crystals, and whether for series or parallel operation. Each sheet will further specify the maximum level of drive and the minimum equivalent parallel resistance (EPR) or maximum equivalent series resistance (ESR) in relation to the frequency of the crystal. These article sheets have been carefully compiled to include a wide range of crystal units with standardized performances and dimensions and it cannot be stressed too greatly that the user should, wherever possible, select his crystal units from these article sheets, even if it may lead to making small modifications to his circuit to enable standard units to be used.

A multiplicity of types only varying in a small degree is uneconomical and restricts interchangeability.

Standardization is a continuing process and, as new requirements arise, new article sheets will be produced to meet these requirements, after careful consideration by the International Electrotechnical Commission.

3.1.2 Technical preamble

The properties of any mode of a lightly damped mechanical vibrator piezo-electrically excited through electrodes, can be represented near resonance by an equivalent electrical circuit (Figure 1) which consists of a capacitance C_1 , inductance L_1 and resistance R_1 in series, shunted by a second capacitance, the parallel capacitance C_0 . The first three parameters C_1 , L_1 and R_1 may be termed the "motional parameters" of the crystal unit.

These are the fundamental parameters of the piezo-electric vibrator.

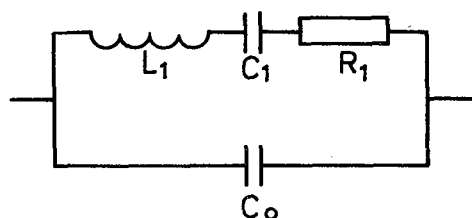


FIG. 1. — Crystal equivalent circuit

La représentation d'un résonateur piézoélectrique par le circuit de la figure 1 n'est utilisable que si les quatre paramètres sont constants et indépendants de la fréquence et de l'amplitude. Les paramètres sont indépendants de la fréquence si le résonateur ne possède pas d'autres modes de vibration au voisinage de sa résonance. Généralement, le mode principal est suffisamment isolé des autres modes pour permettre cette hypothèse. *Si tel n'est pas le cas, les équations et méthodes de mesures que l'on utilise normalement ne s'appliquent pas.* On peut déterminer la validité de la représentation par un circuit en mesurant et représentant graphiquement l'impédance ou l'admittance du résonateur en fonction de la fréquence.

Pour une fréquence déterminée, les paramètres du circuit équivalent tendent généralement vers des valeurs constantes lorsque l'amplitude de la vibration tend vers 0. L'amplitude que l'on peut tolérer avant que les paramètres ne soient affectés d'une façon appréciable varie beaucoup suivant les types de résonateurs et on ne peut la déterminer que par l'expérience.

Les caractéristiques fréquence/température sont en première approximation déterminées par les coefficients de température de la densité, des dimensions et du module d'élasticité de la lame de quartz. Lorsque la résultante de ces trois phénomènes devient nulle, on obtient une stabilité optimale de la fréquence en fonction de la température. Une partie importante de la conception du cristal consiste dans l'obtention de cette condition optimale pour une gamme de température spécifiée.

La stabilité de la fréquence obtenue, en fonction de différentes caractéristiques du circuit d'entrée, est principalement déterminée par le rapport de capacité du cristal (C_0/C_1). Un grand rapport de capacité permet une meilleure stabilité de la fréquence vis-à-vis des changements intervenant dans le circuit, mais on peut alors constater une diminution de l'activité du cristal.

Les paramètres précédents peuvent être affectés par la résultante de couplages piézoélectriques et/ou mécaniques qui se présentent au sein de la lame de quartz. Pour n'importe quel type donné de cristal, ces couplages ont, en général, un effet plus grand aux fréquences plus basses. Les rapports entre les dimensions du cristal ont une répercussion considérable sur l'ordre de grandeur de ce phénomène qui se manifeste d'ordinaire par une diminution de l'activité associée à un changement de fréquence sur une petite plage de température. Il se peut donc, pour certaines fréquences, lorsque le rapport entre les dimensions du cristal devient important, qu'il ne soit pas raisonnable de le loger dans un boîtier trop petit.

On comprendra facilement, étant donné les remarques faites jusqu'à présent, qu'il est de l'intérêt, tant du constructeur que de l'utilisateur, de prendre pour base du choix dans la construction d'un quartz adapté aux exigences de l'utilisateur, la Publication 122-1 de la C.E.I. (Quartz pour oscillateurs).

Le fait de pouvoir ou non disposer de cristaux conformes aux spécifications choisies peut modifier, à un certain point, les conditions demandées par l'utilisateur.

3.2 CLASSIFICATION DES BOITIERS DE QUARTZ

Les renseignements suivants seront portés sur le boîtier:

- Fréquence.
- Constructeur (nom sous forme codifiée ou non).
- Numéro de catalogue du constructeur ou numéro de code.
- Tous autres renseignements nécessaires pour obtenir une description complète du quartz, par exemple C.E.I. ou marque du code national.
- Au gré du constructeur ou sur demande de l'utilisateur, on pourra ajouter un numéro de série et la date de fabrication.

The representation of a piezo-electric vibrator by the circuit of Figure 1 is useful only if the four parameters are constant and independent of frequency and amplitude. The parameters are independent of frequency if the vibrator has no other mode of motion near its resonance. Generally, the mode in question is sufficiently isolated from other modes to permit this assumption. *When this is not true, the equations and measuring methods normally used do not apply.* The validity of the circuit representation can be determined by measuring and plotting the impedance or admittance of the vibrator as a function of frequency.

At a given frequency the parameters of the equivalent circuit generally approach constant values as the amplitude of vibration approaches zero. The amplitude which can be tolerated before the parameters are appreciably affected varies widely between vibrators of various types and can only be determined by experiment.

Frequency-temperature characteristics are, to a first approximation, determined by the temperature coefficients of density, dimensions and elastic modulus of the quartz plate. When the resultant of these three properties becomes zero, the stability of the frequency with respect to temperature will be optimum. A major part of design consists of achieving this optimum condition over a specified range of temperature.

The dependence of the generated frequency with respect to differing input circuit conditions is determined largely by the capacitance ratio of the crystal unit (C_0/C_1). A large capacitance ratio allows better frequency stability against circuit changes, but it may then be found that the activity deteriorates.

The foregoing parameters may be affected again as a result of piezoelectric and/or mechanical couplings occurring within the quartz plate. In general these couplings have greater effect at the lower frequencies of any given type of crystal element. Dimensional ratios of the crystal element have a considerable bearing on the magnitude of this problem, which usually manifests itself as a fall in activity combined with a change in frequency over a small range of temperature. Therefore, when the dimensional ratio becomes important, it may not always be reasonable to house crystal elements of certain frequencies in the smaller holders.

It will be readily understood, in view of the comments made so far, that it is in the interests of manufacturer and user, equally, to decide upon a suitable design of crystal unit in terms of the user's requirements, using I.E.C. Publication 122-1, Quartz Crystal Units for Oscillators, as a basis. Questions of availability of crystals to the chosen specification may modify, to some extent, the user's original requirements.

3.2 CRYSTAL HOLDER CLASSIFICATION

The following information will normally be given on the crystal unit:

- Frequency
- Manufacturer's name or code
- Manufacturer's catalogue or type number
- Any other information necessary to obtain a complete definition of the crystal unit (e. g. I.E.C. or national code marking).
- At the option of the manufacturer or by special request by the purchaser, a serial number and date of manufacture may be added

3.2.1 Boîtiers

3.2.1.1 Catégorie de boîtier

Les boîtiers appartiennent généralement à l'un des trois types suivants:

- a) tout verre,
- b) boîtier métallique étanche avec scelllements verre-métal pour les connexions,
- c) boîtier en résines phénoliques.

Les enveloppes en verre sont généralement sous vide. Ceci procure une augmentation de l'activité, particulièrement aux fréquences basses et améliore également la stabilité à long terme.

Le type de boîtier le plus répandu est le boîtier métallique étanche. La tendance est à l'emploi de types plus petits de tels boîtiers, bien qu'il ne faille pas perdre de vue le fait que des boîtiers plus petits impliquent, en général, des niveaux d'excitation plus faibles.

Les boîtiers en résines phénoliques sont utilisables en atmosphère sèche et tempérée, mais ne sont pas adaptés à des conditions climatiques plus dures étant donné qu'ils ne sont pas insensibles à l'humidité et qu'on ne peut pas les rendre étanches. Ces boîtiers devraient être considérés comme périmés.

3.2.1.2 Boîtiers non normalisés

Pour certaines applications importantes mais qui ne se présentent pas souvent, par exemple dans le cas de cristaux pour basse fréquence taillés suivant les coupes GT et NT, il y a lieu d'utiliser des boîtiers non normalisés. Dans ce cas, il faudra arriver à un accord particulier entre l'utilisateur et le constructeur.

3.2.2 Connexions aux quartz

Dans le cas des boîtiers métalliques, le cristal est connecté aux broches, mais le boîtier n'est pas, en général, réuni à l'une d'elles. Dans le cas d'enveloppes en verre ne contenant qu'un cristal, les connexions au cristal se font par les broches 1 et 5.

Pour plus de renseignements sur les connexions aux broches dans le cas de cristaux multiples, il y aurait lieu de se référer à la section quatre de la Publication 122-3 de la C.E.I. et aux feuilles particulières appropriées.

3.2.3 Montage

Les cristaux sont, en général, capables de résister à un certain niveau de choc et de vibration, mais on doit se rendre compte que les cristaux destinés aux fréquences basses seront plus fragiles que les cristaux de même coupe destinés à des fréquences plus élevées.

Pour les cristaux de fréquences basses, à montage nodal, il est courant de supporter les lames ou les barreaux par une ou plusieurs paires de fils soudés aux surfaces du cristal en des points nodaux ou sur des lignes nodales. Ces régions nodales sont de faible étendue et l'amortissement entraîné par le montage se fait particulièrement sentir sur les petites lames. A l'extrémité inférieure de la gamme de fréquence, la masse et l'inertie du quartz augmentent et il est difficile d'assurer le maintien de caractéristiques satisfaisantes dans le cas de secousses et de vibrations.

Les cristaux de fréquences basses peuvent, par conséquent, être souvent inutilisables pour le matériel mobile à moins que des précautions spéciales ne soient prises pour les protéger des chocs. Les caractéristiques des cristaux de fréquences basses sont influencées de façon appréciable par la qualité du montage et les effets de changements de température se traduisent de façon évidente, en particulier sur l'activité, pour une température élevée.

3.2.1 Holders

3.2.1.1 Categories of holders

Holders generally fall into one of three classes:

- a) all glass units
- b) hermetically sealed metal cases using glass to metal seals for the terminations
- c) phenolic resin cases.

Glass envelopes are usually evacuated. This gives increased activity particularly at low frequencies, as well as improved long term stability.

The most popular type of holder is the hermetically sealed metal case. The trend is towards the use of the smaller types of these holders, although it should be borne in mind that crystals in the smaller holders usually demand lower drive levels than those in the larger ones.

Phenolic holders are adequate for use in dry temperate conditions, but are not suitable for more severe climatic conditions since they are not impervious to moisture, nor can they be effectively sealed. These holders should be regarded as obsolescent.

3.2.1.2 Non-standard holders

For certain important, though not widespread, applications, e. g. low-frequency GT and NT crystals, non-standard holders have to be used. In these cases, individual agreement will have to be reached between customer and manufacturer.

3.2.2 Crystal connections

Metal cases have crystal connections to pins and the case is not in general connected to either of them. In the case of glass types containing only one crystal, the crystal leads are connected to pins 1 and 5.

For further information on multiple crystal pin connections, reference should be made to Section four of I.E.C. Publication 122-3 and to the appropriate article sheets.

3.2.3 Mounting

Crystal units in general are capable of withstanding a specified amount of shock and vibration, but it must be realized that low-frequency crystals of a particular cut will be more fragile than those of higher frequency of the same cut.

For nodally-mounted low-frequency crystals it is the practice to support plates or bars from one or more pairs of wires soldered to the crystal surfaces at nodes or on a nodal line. These nodal regions are small and damping due to the mounting results particularly on the smaller plates. At the lower end of the frequency range, the mass and inertia of the quartz increase and satisfactory performance under bumping and vibration is difficult to maintain.

Thus, low-frequency crystals may often be unusable in mobile applications unless special precautions are taken to protect the crystal unit from shock. The characteristics of low-frequency crystals are appreciably influenced by the mounting and the effects of changes of temperature are likely to be evident, particularly on the activity at an elevated temperature.

Les quartz pour fréquences élevées fonctionnant à des fréquences supérieures à 800 kHz et vibrant en cisaillement suivant l'épaisseur ont tendance à osciller de façon importante dans la partie centrale de la lame. Cette tendance est accentuée par le constructeur qui ne métallise que le centre du cristal. On utilise donc, pour la fixation et les connexions électriques, des suspensions par des fils fixés aux portions relativement inactives de la lame.

Des quartz présentant cette forme de montage ont été largement utilisés en donnant d'excellents résultats. La figure 2, page 50, représente des exemples simplifiés de ces montages.

3.2.4 Interchangeabilité des quartz

Des difficultés peuvent se présenter lorsqu'un quartz métallisé et monté sur fils est introduit dans un circuit primitivement conçu pour des types plus anciens de quartz à lame d'air; non seulement l'activité du cristal métallisé est en général plus élevée, mais la suppression de la lame d'air entraîne en général un couplage plus serré entre le cristal et le circuit.

3.3 FRÉQUENCE

3.3.1 Modes de vibration et gammes de fréquence

La gamme de fréquence couverte par les quartz du commerce peut être considérée comme allant de quelques centaines de Hz à 150 MHz. Pour couvrir cette gamme, on utilise différentes coupes et différents modes de vibrations (voir figure 3, page 51); un résumé des types les plus courants est donné ci-dessous:

TABLEAU 1

Description	Mode de vibration	Gamme de fréquence usuelle	C_0/C_1
X + 5° Duplex	flexion	0,2– 10 kHz	200
X + 5° Barreau	flexion	2 – 16 kHz	
NT	flexion	3 – 100 kHz	900
X + 5° Barreau	élongation	40 – 200 kHz	130
CT	cisaillement plan	150 – 500 kHz	350
DT	cisaillement plan	100 – 250 kHz	400
ET	cisaillement plan (2 ^e partiel)	400 – 800 kHz	
GT	élongation	90 – 250 kHz	350
BT	cisaillement d'épaisseur (fondamental)	3 000 – 22 000 kHz	650
AT (voir note)	cisaillement d'épaisseur (fondamental)	800 – 20 000 kHz	250
AT ou BT	cisaillement d'épaisseur (n ^e partiel = 3, 5, 7, etc.)	15 000 – 150 000 kHz	$n^2 \times$ fondamental

Note: Les quartz de coupe AT peuvent également être fabriqués pour la gamme 400–800 kHz. L'emploi de cristaux de coupe AT dans cette gamme de fréquence implique généralement l'utilisation de boîtiers plus grands.

Les rapports C_0/C_1 donnés ci-dessus sont des valeurs moyennes. Cependant des techniques diverses adoptées par les différents constructeurs pour la fabrication des quartz peuvent conduire à des variations importantes des rapports de capacité.

L'importance de ces variations est d'autant plus grande que le rapport est plus élevé. Pour certaines applications, il peut y avoir lieu de considérer les effets de ces variations lorsque l'on utilise des quartz pour lesquels le rapport C_0/C_1 n'est pas spécifié (voir paragraphe 3.5.3 et paragraphe 3.6.3).

Il doit être bien entendu que des quartz fabriqués par différents constructeurs pour une certaine fréquence de la gamme ci-dessus peuvent présenter des caractéristiques très différentes. Ils ne sont pas forcément de même coupe et même si la coupe est identique, le circuit équivalent différera certainement. Ceci peut

High-frequency crystals of frequencies above 800 kHz (kc/s) vibrating in thickness shear tend to oscillate largely on the centre portion of the plate. This tendency is encouraged by the designer who plates the centre of the crystal only. Wire suspensions to the relatively inactive part of the plate are therefore used for support and electrical connections.

Crystals with this form of mounting have been widely used with excellent results. Examples of methods of mounting in a simplified form are shown in Figure 2, page 50.

3.2.4 Replacement of the crystal units

Difficulties can arise when a plated and wired unit is substituted in a circuit design primarily intended for the older types of gapped crystal units; not only is the activity of the plated crystal usually much higher, but the elimination of the gap usually makes coupling between crystal and circuit closer than was formerly the case.

3.3 FREQUENCY

3.3.1 Modes of vibration and frequency ranges

The frequency range covered commercially by quartz crystals may be taken as a few hundred Hz (c/s) to 150 MHz (Mc/s). Use is made of several cuts and modes of vibration (see Figure 3, page 51) to cover this range and crystals of the common types are summarized below.

TABLE 1

Description	Mode of vibration	Usual frequency range	C_0/C_1
+ 5° X Duplex	flexural	0.2– 10 kHz (kc/s)	200
+ 5° X Bar	flexural	2 – 16 kHz (kc/s)	
NT	flexural	3 – 100 kHz (kc/s)	900
+ 5° X Bar	extensional	40 – 200 kHz (kc/s)	130
CT	face shear	150 – 500 kHz (kc/s)	350
DT	face shear	100 – 250 kHz (kc/s)	400
ET	face shear (2nd overtone)	400 – 800 kHz (kc/s)	
GT	extensional	90 – 250 kHz (kc/s)	350
BT	thickness shear (fundamental)	3 000 – 22 000 kHz (kc/s)	650
AT (see note)	thickness shear (fundamental)	800 – 20 000 kHz (kc/s)	250
AT or BT	thickness shear (n^{th} overtone $n = 3, 5, 7$ etc.)	15 000 – 150 000 kHz (kc/s)	$n^2 \times$ fundamental

Note: AT-cut crystals units can also be produced in the range 400-800 kHz (kc/s). The use of AT-cut crystals in this frequency range usually implies using larger holders.

The C_0/C_1 ratios quoted above are average values. However, various techniques adopted by individual manufacturers in the design of crystal units lead to quite wide variations in the capacitance ratios.

The extent of these variations is much greater towards the higher ratios than it is towards the lower. For some applications the effects of these variations may have to be considered when using crystal units for which the C_0/C_1 ratio is not specified (see Sub-clauses 3.5.3 and 3.6.3).

It should be made clear that a crystal unit produced at any frequency in the above range by a number of manufacturers will differ in many respects. There may even be a difference in cut, but even where this is known to be the same, the equivalent network will almost certainly differ. This may be very important

être très important dans quelques applications, par exemple pour la manipulation, dans le cas d'excitation importante et dans les cas où l'on effectue un glissement de fréquence. C'est l'une des raisons pour lesquelles on demande à l'utilisateur qui fait les essais de fournir tous les détails sur ses desiderata (voir article 3.6). Lorsque l'on a besoin de quartz d'un type particulier, en dehors des gammes de fréquences énumérées ci-dessus, il y a lieu de prendre des arrangements particuliers avec le constructeur. Une situation similaire peut se produire pour de nouvelles coupes de quartz sur lesquelles nous n'avons pas suffisamment d'informations au moment de la publication de ce document.

3.3.2 Quartz fonctionnant sur partiel

3.3.2.1 Généralités

Il est, en général, possible de provoquer dans une lame de quartz des vibrations qui sont des partiels mécaniques d'une certaine vibration fondamentale. Un exemple important de cette possibilité est l'excitation des 3^e, 5^e, 7^e (ordre impair seulement) etc. partiels de la fréquence élevée du cisaillement d'épaisseur des lames AT ou BT. Ainsi, si un cristal a été conçu pour fonctionner à 60 MHz sur son 3^e partiel, il sera également capable de vibrer à environ 20 MHz sur son fondamental et à 100 MHz, 140 MHz, etc. sur ses 5^e, 7^e, etc. partiels. (Le rapport entre les fréquences des modes partiels et fondamental n'est égal qu'approximativement au nombre entier qui exprime l'ordre du partiel.)

3.3.2.2 Caractéristiques

Il y a lieu de garder présentes à l'esprit les caractéristiques de ces quartz pour fréquences élevées, fonctionnant sur partiel, lorsque l'on fait des projets d'appareils qui en comportent.

- a) Leur emploi implique généralement l'utilisation d'un oscillateur ayant une largeur de bande suffisamment étroite pour écarter aussi bien la fréquence fondamentale du quartz que les autres partiels.
- b) Etant donné que la plupart des constructeurs de quartz partiel sont équipés pour la mesure de fréquence de ces quartz à la résonance série, il y aura lieu de prendre toutes dispositions pour s'assurer que l'oscillateur utilisé fait réellement osciller le quartz à sa résonance série (voir paragraphe 3.5.2.2). Si cela n'est pas possible, des échanges de vues avec le constructeur se traduiront, en général, par une solution satisfaisante.
- c) Il est nécessaire de bien comprendre qu'il y a une différence fondamentale entre faire osciller un quartz sur son partiel 3 à 48 MHz et sélectionner l'harmonique 3 produit par un tube électronique à partir d'un quartz de 16 MHz.

Dans un oscillateur à quartz fonctionnant sur le 3^e partiel et correctement réglé à 48 MHz, on ne trouve nulle part dans le circuit de signal à 16 MHz; on trouvera par contre, en général, la gamme normale des harmoniques: 96, 144 MHz, etc.

- d) Les propriétés des quartz fonctionnant sur partiel peuvent, par une construction correcte, satisfaire aux exigences concernant la relation fréquence/température et à la plupart des autres caractéristiques.

Cependant, ces propriétés, pour un quartz donné et un ordre donné du partiel, sont totalement différentes de celles relatives à la fréquence fondamentale ou aux autres partiels, de sorte que l'on ne peut avoir aucune certitude en ce qui concerne le comportement du quartz pour toute fréquence autre que celle pour laquelle il a été conçu.