

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60122-2

Deuxième édition
Second edition
1983-01

**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**

**Quartz crystal units for frequency control
and selection**

**Part 2:
Guide to the use of quartz crystal units
for frequency control and selection**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60122-2: 1983

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**

60122-2

Deuxième édition
Second edition
1983-01

**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**

**Quartz crystal units for frequency control
and selection**

**Part 2:
Guide to the use of quartz crystal units
for frequency control and selection**

© IEC 1983 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

X

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
 CHAPITRE III: GUIDE POUR L'EMPLOI DES RÉSONATEURS À QUARTZ POUR LE CONTRÔLE ET LA SÉLECTION DE LA FRÉQUENCE 	
Articles	
1. Introduction	8
2. Le résonateur à quartz en tant que composant électronique	8
2.1 Généralités	8
2.2 Circuit électrique équivalent d'un résonateur à quartz	12
2.3 Modes de vibration en fonction de la fréquence	16
2.4 Caractéristiques de fréquence en fonction de la température	16
2.5 Paramètres des résonateurs à quartz	24
2.6 Boîtiers de résonateurs à quartz	44
3. Le résonateur à quartz en tant que composant d'un circuit	46
3.1 Généralités	46
3.2 Oscillateurs, notion de base	60
3.3 Considérations pratiques sur les oscillateurs	66
3.4 Stabilité de fréquence	68
3.5 Utilisation pour le filtrage	68
4. Facteurs affectant le coût et la disponibilité commerciale des résonateurs à quartz	70
4.1 Introduction	70
4.2 Fréquence du résonateur à quartz	70
4.3 Boîtiers de résonateur à quartz	70
4.4 Tolérances de fréquence	70
4.5 Coupe AT. Aspects économiques du coefficient de température	72
4.6 Vieillessement	72
4.7 Conditions climatiques et mécaniques	74
4.8 Considérations générales sur les essais	74
5. Données techniques destinées à accompagner une commande	76
5.1 Liste de vérification des paramètres à prescrire dans une spécification particulière	76
5.2 Prescriptions obligatoires	76
5.3 Prescriptions facultatives	78

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF QUARTZ CRYSTAL UNITS FOR FREQUENCY CONTROL AND SELECTION

Clause

1. Introduction	9
2. The quartz crystal unit as an electronic component	9
2.1 General	9
2.2 The equivalent electrical circuit of a quartz crystal unit	13
2.3 Modes of vibration as a function of frequency	17
2.4 Frequency versus temperature characteristics	17
2.5 Crystal unit parameters	25
2.6 Crystal unit enclosures	45
3. The crystal unit as a circuit component	47
3.1 General	47
3.2 Oscillators, basic concept	61
3.3 Oscillators, practical considerations	67
3.4 Frequency stability	69
3.5 Use in filter applications	69
4. Factors affecting cost and availability of quartz crystal units	71
4.1 Introduction	71
4.2 Crystal unit frequency	71
4.3 Crystal unit enclosures	71
4.4 Frequency tolerances	71
4.5 AT-cut. Temperature coefficient cost aspects	73
4.6 Ageing	73
4.7 Environmental	75
4.8 General testing considerations	75
5. Technical data to accompany order form	77
5.1 Check list of crystal unit parameters to be specified in article sheet	77
5.2 Mandatory requirements	77
5.3 Optional requirements	79

6. Termes et définitions	80
6.1 Termes généraux	80
6.2 Propriétés électriques	82
6.3 Définitions relatives au quartz en fonctionnement	84
7. Bibliographie	88

6. Terms and definitions	81
6.1 General terms	81
6.2 Electrical properties	83
6.3 Operational properties	85
7. Bibliography	88

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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**

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 norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Elle constitue la deuxième partie qui comprend le chapitre III de la norme de la CEI concernant les quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence.

La première partie, comprenant le chapitre I: Valeurs normalisées, et le chapitre II: Conditions de mesures et d'essais, est publiée comme Publication 122-1 de la CEI.

La troisième partie comprenant le chapitre IV: Encombrements normalisés, et le chapitre V: Connexions des broches, est publiée comme Publication 122-3 de la CEI.

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Zurich en 1979. A la suite de cette réunion, un projet révisé, document 49(Bureau Central)140, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1980.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud	Egypte	Royaume-Uni
(République d')	Espagne	Suède
Allemagne	Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Belgique	Italie	Turquie
Brésil	Japon	Union des Républiques
Canada	Nouvelle-Zélande	Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 68: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique.
- 122-1: Quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence, Première partie: Valeurs normalisées et conditions de mesures et d'essais.
- 302: Définitions normalisées et méthodes de mesures pour les résonateurs piézoélectriques de fréquences inférieures à 30 MHz.
- 314: Enceintes à température régulée pour les quartz.
- 444: Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π .
- 679-2: Oscillateurs pilotés par quartz, Deuxième partie: Guide pour l'utilisation des oscillateurs pilotés par quartz.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

QUARTZ CRYSTAL UNITS FOR FREQUENCY CONTROL AND SELECTION**Part 2: Guide to the use of quartz crystal units
for frequency control and selection**

FOREWORD

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

PREFACE

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

It forms Part 2 which contains Chapter III of the IEC standard for quartz crystal units for frequency control and selection.

Part 1, containing Chapter I: Standard values, and Chapter II: Test conditions, is issued as IEC Publication 122-1.

Part 3, containing Chapter IV: Standard outlines, and Chapter V: Pin connections, is issued as IEC Publication 122-3.

A draft was discussed at the meeting held in Zurich in 1979. As a result of this meeting, a revised draft, Document 49(Central Office)140, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Japan	Switzerland
Brazil	New Zealand	Turkey
Canada	South Africa	Union of Soviet
Egypt	(Republic of)	Socialist Republics
Germany	Spain	United Kingdom
Italy	Sweden	United States of America

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications n°s 68: Basic Environmental Testing Procedures.

122-1: Quartz Crystal Units for Frequency Control and Selection, Part 1: Standard Values and Test Conditions.

302: Standard Definitions and Methods of Measurement for Piezoelectric Vibrators Operating over the Frequency Range up to 30 MHz.

314: Temperature Control Devices for Quartz Crystal Units.

444: Measurement of Quartz Crystal Unit Parameters by Zero Phase Technique in a π -network.

679-2: Quartz Crystal Controlled Oscillators, Part 2: Guide to the Use of Quartz Crystal Controlled Oscillators.

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

CHAPITRE III: GUIDE POUR L'EMPLOI DES RÉSONATEURS À QUARTZ POUR LE CONTRÔLE ET LA SÉLECTION DE LA FRÉQUENCE

1. Introduction

La présente norme a été établie pour répondre à un désir généralement exprimé, tant par les utilisateurs que par les fabricants, de disposer d'un guide pour l'emploi des résonateurs à quartz destinés aux oscillateurs et aux filtres, afin qu'ils puissent être utilisés au mieux.

Elle attire l'attention sur quelques-unes des questions fondamentales que l'utilisateur devrait examiner avant de commander un résonateur pour une application nouvelle; on espère que, ce faisant, il contribuera à garantir un fonctionnement satisfaisant, un coût et une disponibilité commerciale favorables. Elle n'a pas pour but de développer des notions théoriques ni de couvrir tous les cas qui se posent en pratique; enfin, elle ne peut se substituer à une liaison étroite entre fabricant et utilisateur.

2. Le résonateur à quartz en tant que composant électronique

2.1 Généralités

L'élément de cristal de quartz est une structure vibrant en résonance dont l'orientation et les dimensions déterminent sa fréquence pour le mode de vibration donné et dont le couplage à un circuit électrique est réalisé par effet piézoélectrique. Les propriétés intrinsèques du cristal de quartz en font, en raison de son facteur de qualité Q élevé, un dispositif unique pour une commande de fréquence et un filtrage très stables et très exacts. Les résonateurs à quartz ne sont pas des étalons primaires de fréquence mais, définis avec précision, ils procurent une stabilité excédant de beaucoup la plupart des exigences de l'industrie électronique.

Le cristal de quartz est taillé dans un monocristal de quartz selon une orientation précise par rapport aux axes cristallographiques, comme le montre la figure 1, page 10.

Note. — Ce dessin ne présente que des exemples généralisés des coupes le plus communément utilisées.

QUARTZ CRYSTAL UNITS FOR FREQUENCY CONTROL AND SELECTION

Part 2: Guide to the use of quartz crystal units for frequency control and selection

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF QUARTZ CRYSTAL UNITS FOR FREQUENCY CONTROL AND SELECTION

1. Introduction

This standard 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 quartz crystal units for filters and oscillators so that the crystal units may be used to their best advantage.

It draws attention to some of the more fundamental questions which should be considered by the user before he places his order for a unit for a new application, and in so doing will, it is hoped, help ensure against unsatisfactory performance, unfavourable cost and non-availability. It is not the function of this standard to explain theory, nor to attempt to cover all the eventualities that may arise in practical circumstances. Lastly, it should not be considered as a substitute for close liaison between manufacturer and user.

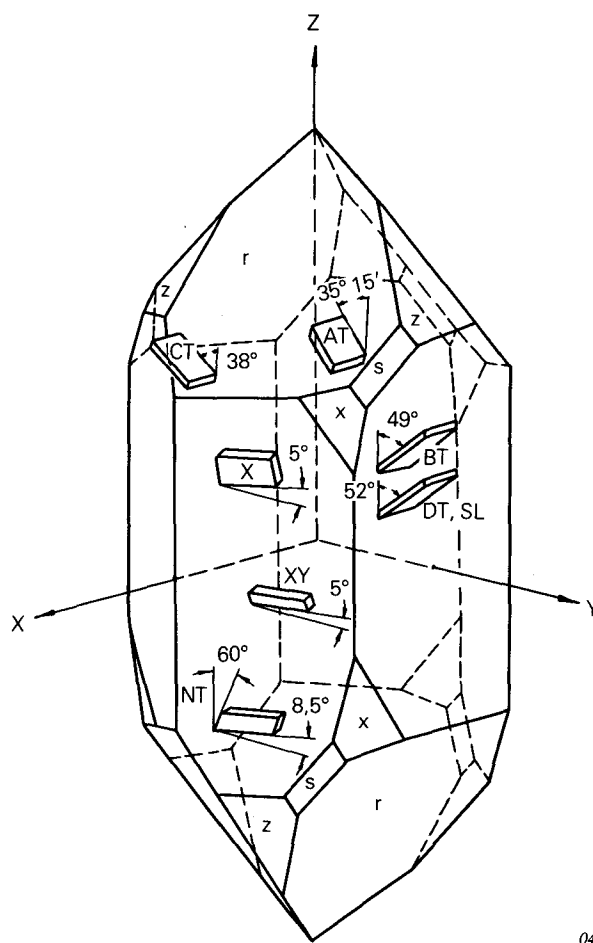
2. The quartz crystal unit as an electronic component

2.1 General

The quartz crystal element is a vibrating resonant structure whose orientation and dimensions determine its frequency for a given mode of vibration and which relies on the piezoelectric effect to couple it to an electrical circuit. The intrinsic properties of quartz make it a unique device for highly accurate and stable frequency control and selection because of its high “quality factor” Q . Crystal units are not a primary frequency standard, but when precisely defined can provide stabilization far in excess of most requirements in the electronic industry.

The crystal element is cut from monocrystalline quartz with precise orientation to the crystallographic axes as shown in Figure 1, page 11.

Note. – This illustration shows only generalized examples of the most commonly used crystal cuts.



043/83

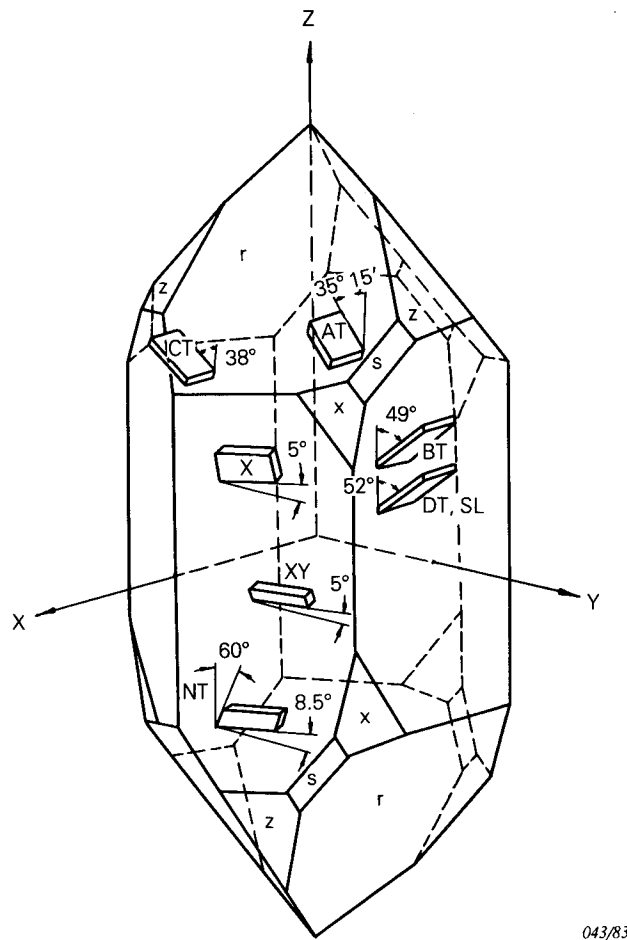
Note. — Cristal de quartz droit.

FIG. 1. — Désignation des coupes le plus communément utilisées.

Cette figure représente un cristal de quartz naturel; cependant, à l'heure actuelle, de nombreux fabricants utilisent du matériau synthétique; la technique a fait de tels progrès que les différences du point de vue électrique, entre le matériau synthétique et le matériau naturel, sont presque indiscernables.

Bien que les caractéristiques du quartz soient très stables, le fonctionnement ultime du résonateur dépend de la façon dont il est utilisé. Ce fonctionnement étant très largement influencé par les conditions d'environnement et par les conditions électriques associées, chaque utilisateur a le plus grand intérêt à consulter le fabricant au sujet de son application particulière au stade le moins avancé de son étude.

Il existe un grand nombre de coupes et de modes de vibration différents permettant de fabriquer des résonateurs à quartz de coefficient de température voisin de zéro dans une large gamme de fréquences.



043/83

Note. — Example shown is right-handed quartz.

FIG. 1. — Designation of the most commonly used crystal cuts.

This figure shows a natural quartz crystal. However, most manufacturers now use synthetic material. Techniques have advanced to a point where synthetic quartz is almost indistinguishable from natural material with regard to electrical performance.

Although the properties of quartz are very stable, the ultimate performance of the element is dependent on the way in which it is used. Its performance is influenced by the environment and the associated electrical circuits. All customers should discuss their particular application with the crystal manufacturer at the earliest stage in any design.

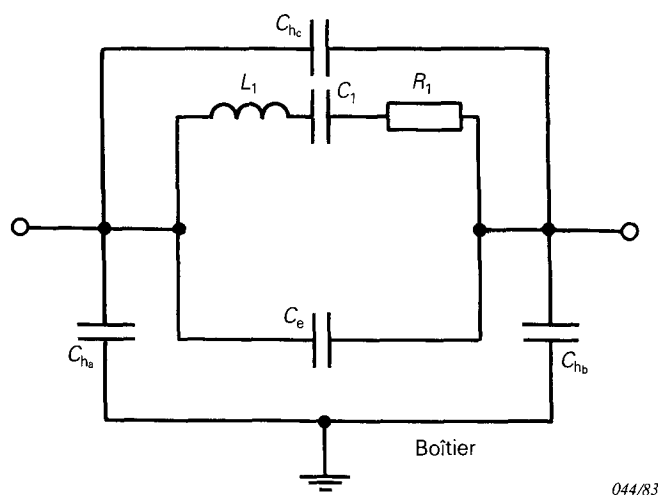
There are a number of different cuts and modes of vibration which will produce crystal units of near zero temperature coefficients over a wide frequency range.

Le résonateur à quartz, en tant que composant électrique, se compose d'un cristal déterminé, ou plaque, associé à des électrodes conductrices pour former un champ électrique à travers le quartz, et d'un montage adapté dans un boîtier de protection sans interférence significative sur le mode désiré de vibration mécanique. Le circuit électrique équivalent de cet ensemble est représenté sur la figure 2. Les valeurs des paramètres de ce circuit équivalent dépendent essentiellement de la coupe et du mode de vibration du cristal ainsi que de la fréquence de fonctionnement et des choix spécifiques de conception déterminés par le fabricant.

2.2 Circuit électrique équivalent d'un résonateur à quartz

Tout résonateur piézoélectrique faiblement amorti, vibrant mécaniquement et excité par l'intermédiaire d'électrodes, peut être représenté, au voisinage de la résonance, par un circuit électrique équivalent qui comprend une capacité (C_1), une inductance (L_1) et une résistance (R_1) en série shuntées par une deuxième capacité (C_0).

Le circuit équivalent du résonateur à quartz est représenté sur la figure 2.



- L_1 = inductance dynamique (henry)
- C_1 = capacité dynamique (farad)
- C_h = capacité de boîtier (farad)
- C_e = capacité d'électrode (farad)
- $C_0 = C_e + C_h$ capacité effective parallèle (farad)
- R_1 = résistance dynamique (ohm)

FIG. 2. – Circuit équivalent d'un résonateur à quartz.

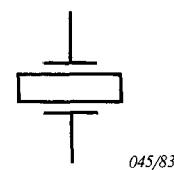


FIG. 2a. – Symbole du résonateur à quartz dans le circuit.

Cette représentation d'un résonateur à quartz n'est exacte que si les 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'autre mode de vibration au voisinage de la résonance particulière. Généralement, le mode principal est suffisamment isolé des autres modes pour justifier cette hypothèse. Si tel n'est pas le cas, les équations et les méthodes de mesure que l'on utilise normalement ne s'appliquent pas. On peut déterminer la validité de la représentation du circuit en mesurant et en représentant graphiquement l'impédance ou l'admittance du résonateur en fonction de la fréquence.

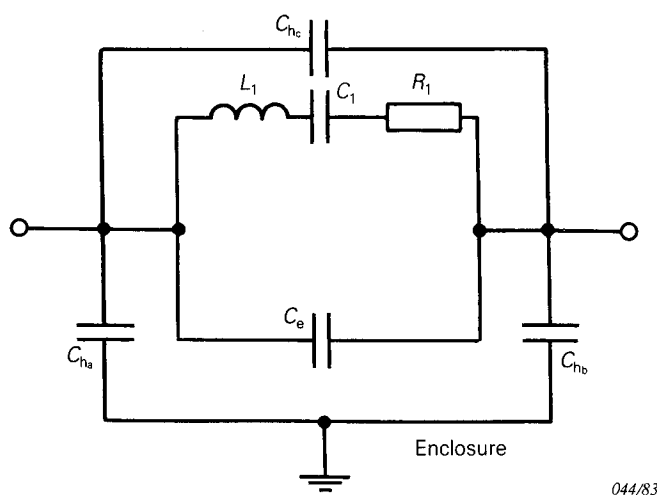
Il convient de remarquer sur la figure 2, ci-dessus, que la capacité parallèle totale est déterminée par divers paramètres dépendant des sorties du résonateur et de la mise à la masse du boîtier. On ne doit pas oublier que, dans un circuit à haute impédance, le boîtier doit être mis à la masse.

The crystal unit as an electrical component consists of the chosen element, or plate, together with conducting electrodes to establish an electric field through the quartz, and some means of mounting in a protective enclosure which will not significantly interfere with the desired mode of mechanical vibration. This complete crystal unit has an equivalent electrical circuit as shown in Figure 2. The values of the parameters of this equivalent circuit depend strongly on the cut and mode of vibration of the crystal element, as well as on the frequency of operation and the specific design options exercised by the manufacturer.

2.2 The equivalent electrical circuit of a quartz crystal unit

The properties of any mode of a lightly damped mechanical vibrator piezoelectrically excited through electrodes can be represented, in the region of the resonance frequency, by an equivalent electrical circuit which consists of a capacitance (C_1), inductance (L_1) and resistance (R_1) in series, shunted by a second capacitance (C_0).

A representation of the quartz crystal unit equivalent circuit is shown in Figure 2.



- L_1 = motional inductance (henry)
- C_1 = motional capacitance (farad)
- C_h = enclosure capacitance (farad)
- C_e = electrode capacitance (farad)
- $C_0 = C_e + C_h$ effective shunt capacitance (farad)
- R_1 = motional resistance (ohm)

FIG. 2a. – Crystal unit circuit symbol.

FIG. 2. – Equivalent circuit of a quartz crystal unit.

This representation of a quartz crystal unit is true only if the 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 the particular 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.

It should be noted from Figure 2 above that the total crystal parallel capacitance is determined by varying conditions of crystal terminations and earthing the enclosure. It should be borne in mind that with a high-impedance circuit, the enclosure should be earthed.

Un circuit équivalent simplifié, communément utilisé, est représenté sur la figure 3.

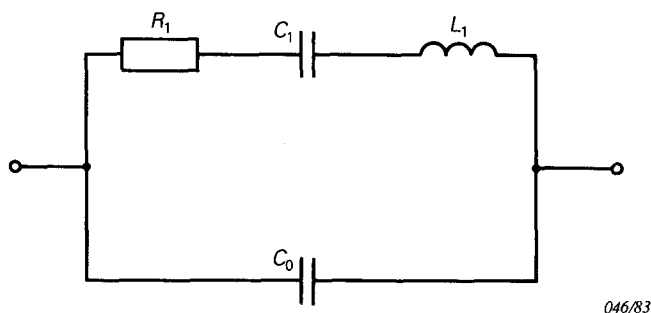


FIG.3. – Circuit équivalent simplifié d'un résonateur à quartz.

L'inductance représente la masse vibrante, la capacité série, l'élasticité de l'élément de quartz et la résistance, les frottements internes, les pertes mécaniques dans le système de monture et les pertes acoustiques dans l'espace environnant. La capacité parallèle est composée de la capacité statique entre les électrodes et des capacités parasites du système de monture.

Ce circuit simple a deux fréquences à phase nulle, l'une à la résonance (f_r) et l'autre à l'antirésonance (f_a).

Utilisé dans un oscillateur, le résonateur fonctionne à une fréquence quelconque déterminée par la phase et une réactance effective du circuit d'entretien et comprise entre les lignes interrompues de la figure 4.

En faisant varier cette condition de réaction, on peut ajuster la fréquence dans une certaine mesure. La quantité dont la fréquence peut varier (glissement de fréquence) est inversement proportionnelle au rapport de capacité

$$r = \frac{C_0}{C_1} = \text{(habituellement une constante pour une coupe et une réalisation données).}$$

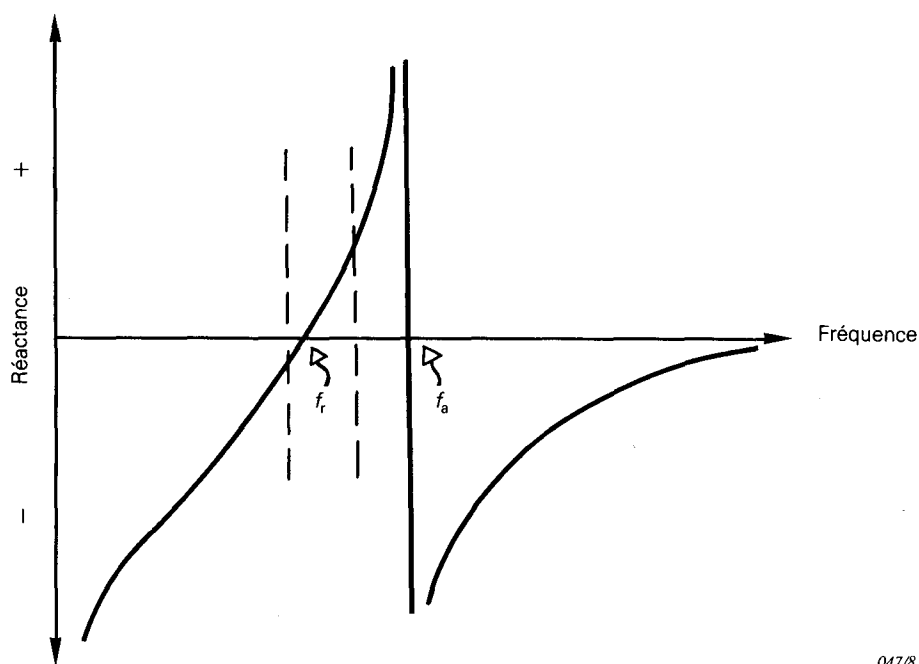
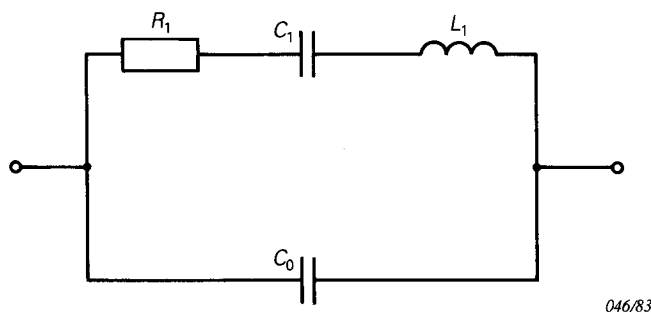


FIG.4. – Courbe caractéristique de la variation réactance/fréquence au voisinage de la résonance.

A commonly used simplified equivalent circuit is shown in Figure 3.



046/83

FIG. 3. – Simplified equivalent circuit of a quartz crystal unit.

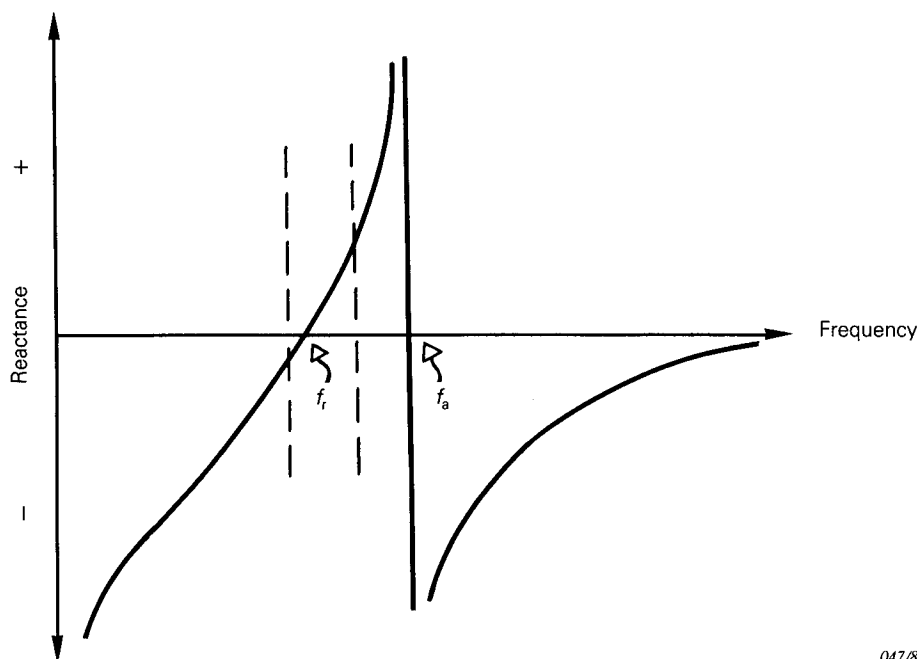
The inductance represents the vibrating mass, the series capacitance, the compliance of the quartz element and the resistance, the internal friction of the element, mechanical losses in the mounting system and acoustical losses to the surrounding environment. The shunt capacitance is made up of the static capacitance between the electrodes, together with stray capacitances of the mounting system.

There are two zero-phase frequencies associated with this simple circuit, one is at resonance (f_r), another at anti-resonance (f_a).

When used in an oscillator, quartz crystal units will operate at any frequency within the broken lines of Figure 4, as determined by the phase and effective reactance of the maintaining circuit.

By variation of this reactive condition, the crystal frequency may be trimmed to a limited extent. The degree to which this frequency may be varied (frequency pulling) is inversely proportional to the capacitance ratio

$$r = \frac{C_0}{C_1} = (\text{usually a constant for a given cut and design}).$$



047/83

FIG. 4. – Reactance/frequency variation characteristic in the vicinity of resonance.

Des valeurs typiques du rapport de capacité pour des gammes de fréquences et des coupes différentes sont données dans le tableau I. Des renseignements détaillés sont présentés avec les figures 14 et 15, pages 54 et 58.

La largeur de bande, lorsqu'il s'agit de résonateur pour filtre, peut être affectée par ce rapport. Généralement, plus le rapport est élevé, plus la bande est étroite.

2.3 Modes de vibration en fonction de la fréquence

La gamme de fréquences couverte par l'ensemble des résonateurs à quartz trouvés dans le commerce peut être considérée comme s'étendant de quelques centaines de hertz à 200 MHz. Pour couvrir cette gamme, on utilise différentes coupes et différents modes de vibration; un résumé des types les plus courants est donné, ci-dessous, dans le tableau I.

TABLEAU I
Modes de vibration en fonction de la fréquence

Désignation de la coupe	Mode de vibration	Gamme de fréquences usuelle (kHz)	C_0/C_1 approximatif
XY	Flexion	1 à 80	600
NT	Flexion	4 à 100	900
Barreau X, 5°	Elongation	40 à 200	130
CT	Cisaillement plan	150 à 850	350
DT	Cisaillement plan	100 à 500	400
SL	Cisaillement plan	180 à 700	400
BT	Cisaillement d'épaisseur (fondamental)	3 000 à 30 000	650
AT	Cisaillement d'épaisseur (fondamental)	800 à 5 000 5 000 à 30 000	450-300 220
AT	Cisaillement d'épaisseur	10 000 à 75 000 50 000 à 150 000 100 000 à 200 000 150 000 à 200 000	} Environ $n^2 \times 250^*$
	Partiel 3		
	Partiel 5		
	Partiel 7		
	Partiel 9		

* n = rang du partiel.

On peut aussi fabriquer des résonateurs à quartz de coupe AT dans la gamme de 400 kHz à 800 kHz, mais cela exige généralement l'utilisation d'un boîtier de plus grande dimension.

Le choix du mode de vibration ou de la coupe peut être affecté par les dimensions du boîtier ou des paramètres autres que la fréquence elle-même.

Les rapports C_0/C_1 , ci-dessus, sont des valeurs typiques. Cependant, les techniques diverses adoptées par différents fabricants pour la réalisation des résonateurs à quartz peuvent conduire à des variations importantes des rapports de capacité; C_0 est la capacité parallèle et C_1 est la capacité dynamique (voir la figure 2, page 12).

Pour les coupes AT et BT, le rapport C_0/C_1 tend à augmenter quand les dimensions du boîtier diminuent, particulièrement à la limite inférieure de la gamme de fréquences.

2.4 Caractéristiques de fréquence en fonction de la température

Les caractéristiques fréquence/température sont déterminées en première approximation par les coefficients de température de la masse spécifique, des dimensions et du module d'élasticité de la lame

Typical values of capacitance ratio for various frequency ranges and cuts are given in Table I. Detailed information is shown in Figures 14 and 15, pages 55 and 59.

In filter applications, the bandwidth may be affected by this ratio. In general, the higher the ratio the narrower the bandwidth.

2.3 Modes of vibration as a function of frequency

The frequency range covered commercially by quartz crystal units may be taken as a few hundred hertz to 200 MHz. Use is made of many cuts and modes of vibration to cover this range and crystals of the common types are summarized in Table I.

TABLE I
Modes of vibration as a function of frequency

Designation of cut	Mode of vibration	Usual frequency range (kHz)	Approximate C_0/C_1
XY	Flexural	1 to 80	600
NT	Flexural	4 to 100	900
5° X bar	Extensional	40 to 200	130
CT	Face shear	150 to 850	350
DT	Face shear	100 to 500	400
SL	Face shear	180 to 700	400
BT	Thickness shear (fundamental)	3 000 to 30 000	650
AT	Thickness shear (fundamental)	800 to 5 000	450–300
AT	Thickness shear	5 000 to 30 000	220
	3rd overtone	10 000 to 75 000	Approximately $n^2 \times 250^*$
	5th overtone	50 000 to 150 000	
	7th overtone	100 000 to 200 000	
	9th overtone	150 000 to 200 000	

* n = order of overtone.

AT-cut crystal units can also be produced in the range from 400 kHz to 800 kHz, but they usually require larger enclosures.

The choice of mode or cut may be affected by the enclosure size or parameters other than the frequency itself.

The C_0/C_1 ratios quoted are typical values. However, various techniques adopted by individual manufacturers in the design of quartz crystal units may lead to quite wide variations; C_0 is the shunt capacitance and C_1 is the motional capacitance (see Figure 2, page 13).

For AT and BT-cuts, the C_0/C_1 ratio will tend to increase with smaller enclosures, particularly at the lower end of the frequency range.

2.4 Frequency versus temperature characteristics

These 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

de quartz. Lorsque la résultante de ces trois caractéristiques devient nulle, on obtient la stabilité optimale en fonction de la température. L'approximation de cette condition optimale constitue une part importante de la conception du résonateur dans la gamme spécifiée de températures.

Ces caractéristiques varient énormément avec la fréquence et le mode de vibration utilisé. Des exemples typiques en sont donnés à la figure 5, page 20, qui représente la forme des courbes fréquence/température de différentes coupes sur des bases comparables. Il est important de noter que, lorsque la gamme spécifiée de températures dépasse 30°C, le mode AT est d'au moins un ordre de grandeur meilleur que les autres modes communément utilisés.

Les courbes fréquence/température de forme parabolique suivent avec une bonne approximation la loi suivante:

$$\frac{\Delta f}{f} = -a_2(T_0 - T)^2$$

où:

$\frac{\Delta f}{f}$ = différence de fréquence relative, exprimée en 1×10^{-6} entre les températures T et T_0
 T_0 = température pour laquelle la fréquence est maximale (température d'inversion)
 T = température quelconque dans la gamme de fonctionnement
 a_2 = constante de la parabole

TABLEAU II

Coupe	Valeur de a_2 (dimension $10^{-9}/K^2$)
BT	40
CT	58
DT et SL	17
NT et XY	35

K = kelvin.

Note. – Ces constantes sont basées sur la théorie de Voigt [1]*.

Le fabricant peut accepter des spécifications prescrivant un point d'inversion déterminé à l'intérieur d'une grande gamme de températures. Des valeurs de 25°C à 75°C sont courantes et il peut compter placer le point d'inversion à $\pm 10^\circ\text{C}$ approximativement, cette incertitude provenant des tolérances de fabrication.

Dans le cas des résonateurs de coupes NT et 5° X, le fabricant n'a pas une liberté complète dans la disposition de la parabole et les résonateurs peuvent différer selon le choix particulier qu'il fait des dimensions.

Une série plus complète de courbes théoriques pour la coupe AT est représentée sur la figure 6, page 22. Ces courbes indiquent que l'on peut choisir l'angle de coupe dans une certaine plage de façon à limiter la dispersion des caractéristiques dans une gamme particulière de températures. Il convient, cependant, de n'utiliser ces courbes théoriques que pour information en raison des diverses servitudes dues aux différences de fabrication et de conception. Le fabricant conseille utilement sur les tolérances qui peuvent être obtenues en pratique pour les fréquences que l'on spécifie.

*Les chiffres entre crochets se rapportent à la bibliographie (article 7), page 88.

zero, the stability of the frequency with respect to temperature will be optimum. A major part of design consists of approximating this optimum condition over a specified range of temperature.

These characteristics will vary considerably with the frequency and mode of vibration used. Typical examples are given in Figure 5, page 21, which shows the form of representative frequency/temperature curves of the cuts on a comparative basis. It is of significance to note that the AT mode is at least an order better than other modes commonly used once the temperature range specified exceeds 30°C.

The parabolic frequency/temperature curves conform fairly closely to the form:

$$\frac{\Delta f}{f} = -a_2(T_0 - T)^2$$

where:

$\frac{\Delta f}{f}$ = fractional frequency difference, expressed in 1×10^{-6} between temperatures T and T_0

T_0 = temperature at which maximum frequency occurs (turnover temperature)

T = any temperature in the operating range

a_2 = constant of the parabola

TABLE II

Cut	Value of a_2 (dimension $10^{-9}/K^2$)
BT	40
CT	58
DT and SL	17
NT and XY	35

K = kelvin.

Note. — These constants are based on the Voigt's theory [1]*.

The manufacturer may accept a specification calling for a specific turnover point over a wide range of temperatures. Common values are between 25°C and 75°C and he will expect to place the turnover point within approximately $\pm 10^\circ\text{C}$, this uncertainty arising from manufacturing tolerances.

In the case of NT-cut and 5° X cut units, the manufacturer does not have complete freedom in positioning the parabola and crystal units may differ according to the individual manufacturer's choice of dimensions.

A more complete series of theoretical curves for the AT-cut is shown in Figure 6, page 23. These curves indicate that specific angular ranges may be selected to give a limited performance spread over a particular range of temperatures. However, due to various manufacturing and design limitations, the theoretical curves should be used for guidance only. The manufacturer will advise on the tolerances obtainable in practice for the frequencies required.

* Figures in square brackets refer to the Bibliography (Clause 7), page 88.

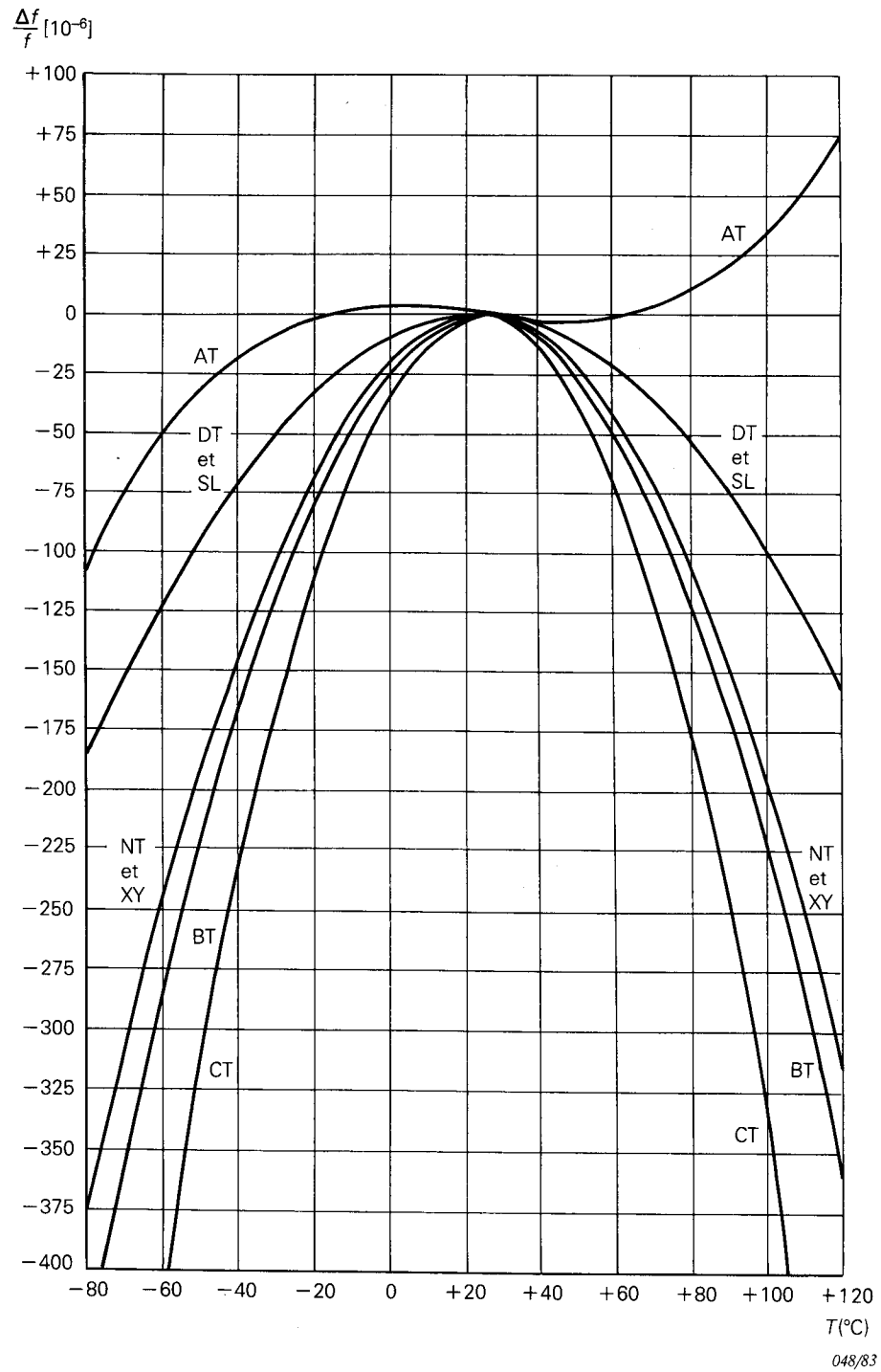


FIG. 5. – Courbes température/fréquence théoriques pour certaines coupes de quartz habituellement utilisées.

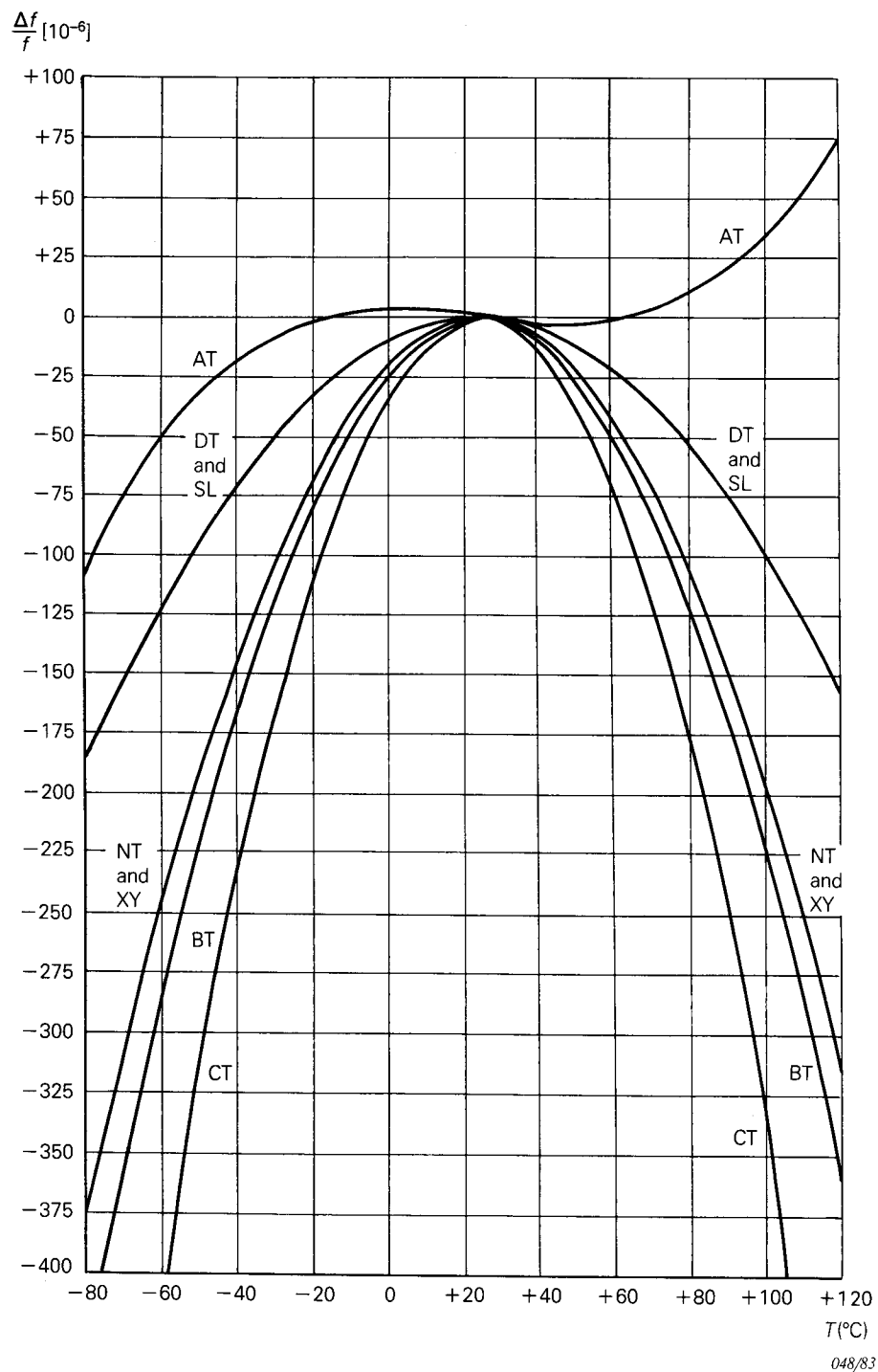
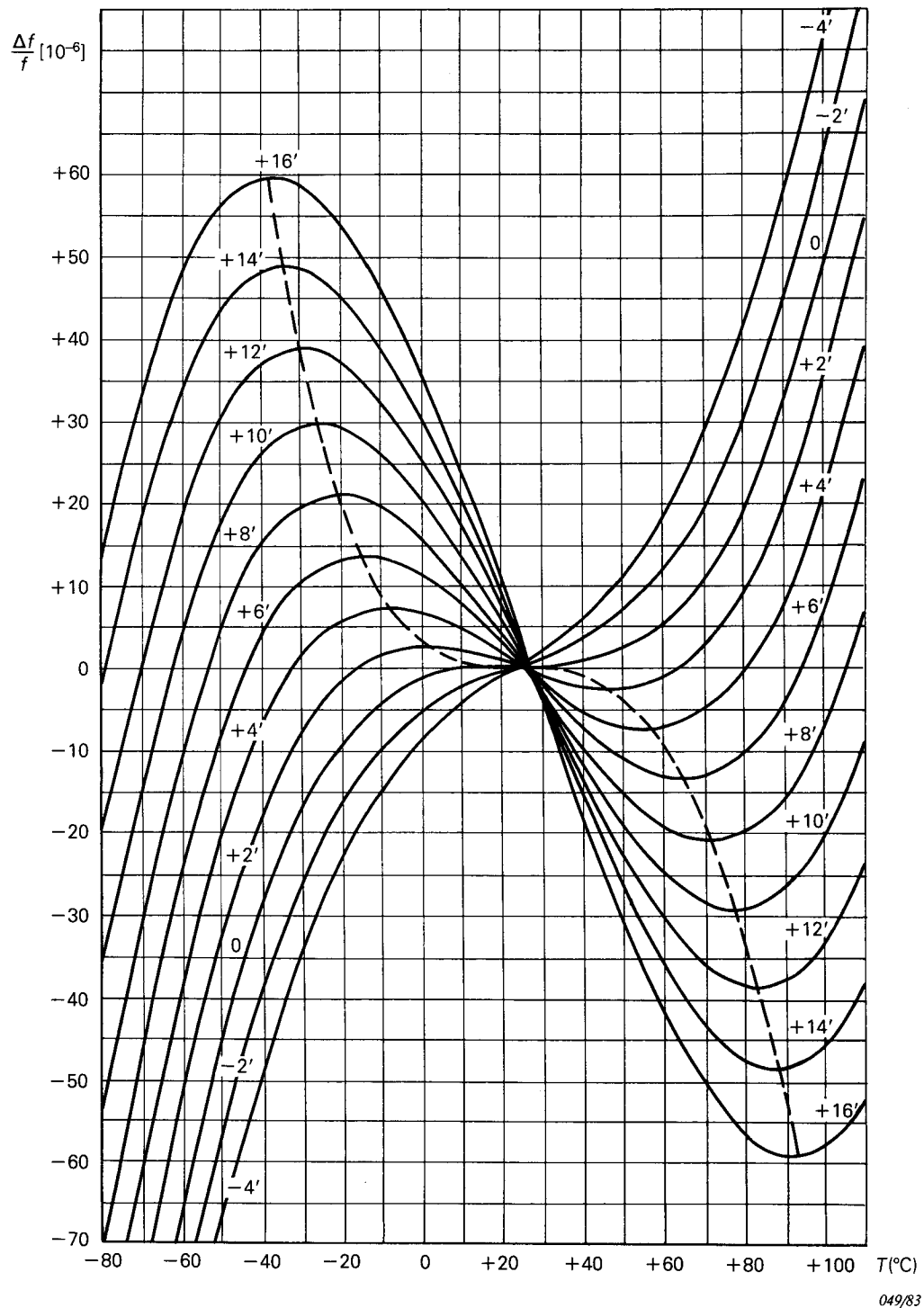
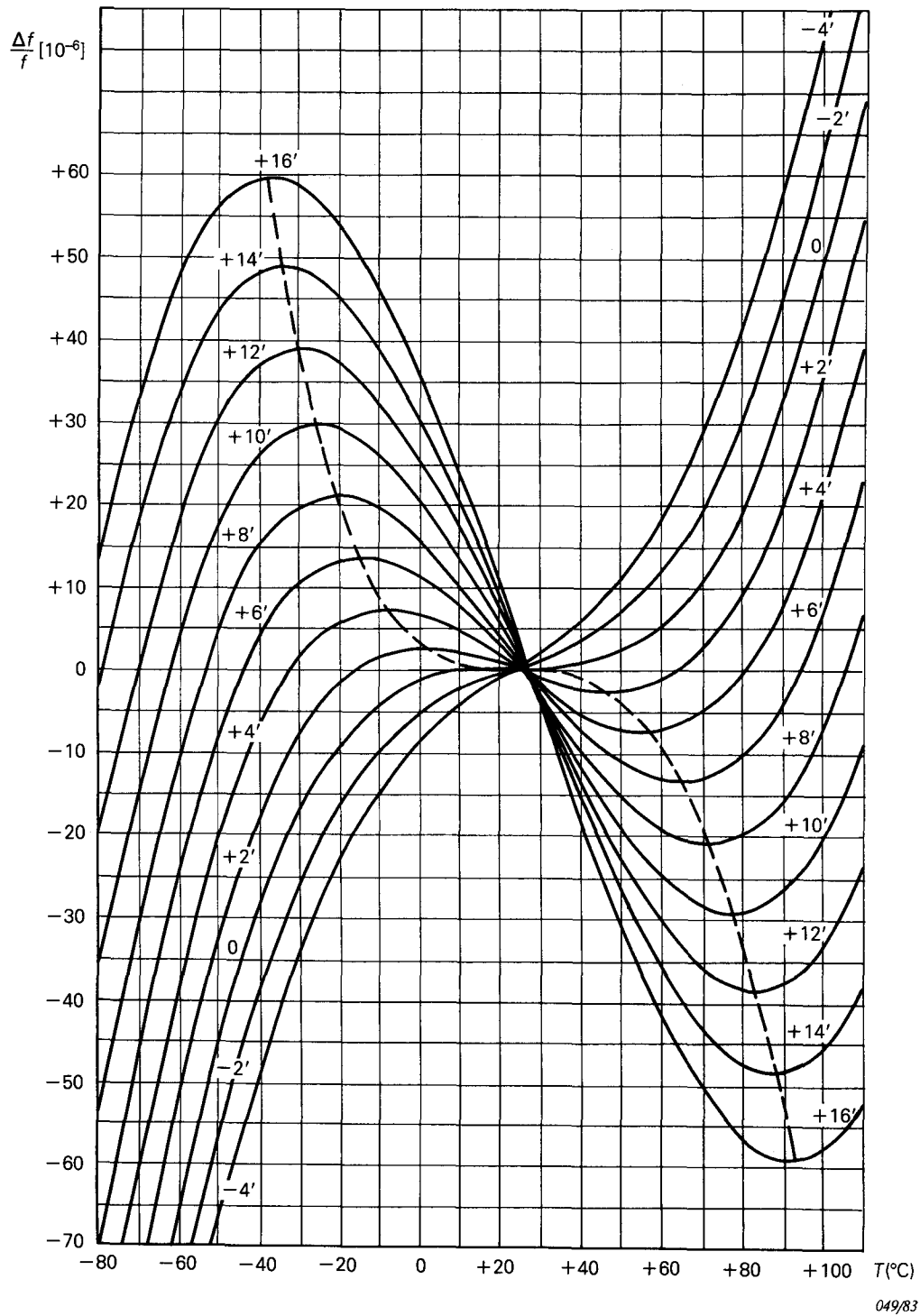


FIG.5. – Theoretical frequency/temperature curves of some common crystal cuts.



Note. — La ligne tiretée représente les points de températures pour lesquels $\Delta f / \Delta T = 0$.

FIG. 6. — Courbes fréquence/température généralisées (coupe AT).



Note. — Broken line represents loci of temperatures at which $\Delta f/\Delta T = 0$.

FIG. 6. — Frequency/temperature curves generalized (AT-cut).

2.5 Paramètres des résonateurs à quartz

2.5.1 Renseignements détaillés sur les paramètres du résonateur à quartz

Le circuit électrique équivalent se compose des paramètres dynamiques L_1 , C_1 , R_1 et de la capacité parallèle C_0 . Tous ces paramètres sont étroitement liés entre eux et une variation de l'un peut entraîner une variation de tous les autres. Les relations entre ces paramètres apparaissent dans les équations suivantes qui sont toutes deux des approximations communément acceptées utilisées dans l'industrie:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

$$Q = \frac{\omega L_1}{R_1}$$

Note. – On peut trouver les équations exactes dans la Publication 302 de la CEI: Définitions normalisées et méthodes de mesures pour les résonateurs piézoélectriques de fréquences inférieures à 30 MHz.

Les figures 7, 8, 9a et 9b, pages 26 à 32, donnent la variation des valeurs des paramètres qui peuvent être réalisés pour des gammes de fréquences et des coupes différentes.

2.5 Crystal unit parameters

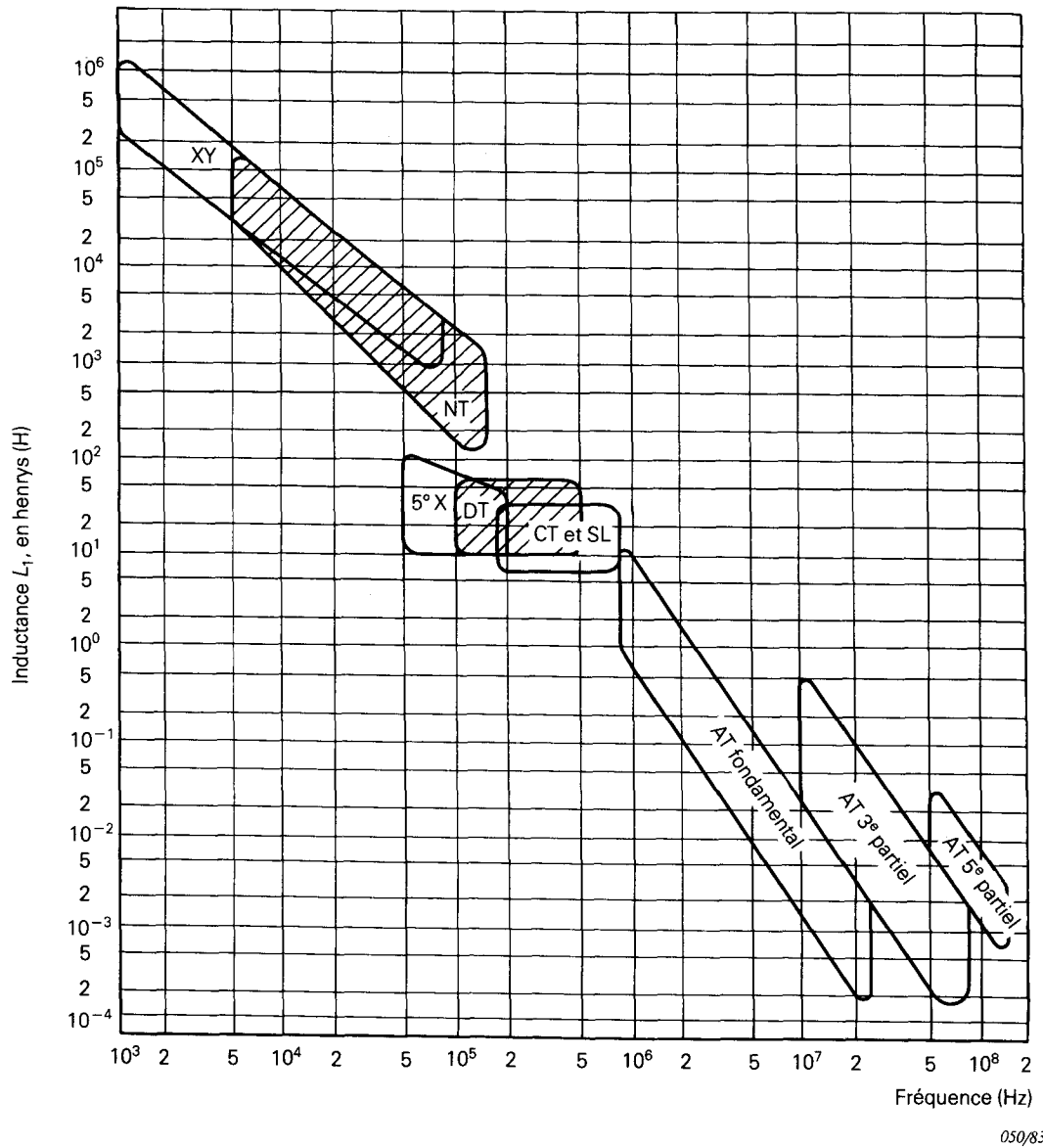
2.5.1 Detailed information on crystal unit parameters

The equivalent electrical circuit consists of the motional parameters L_1 , C_1 , R_1 and the shunt capacitance C_0 . These are all interrelated and a change of one may result in a change in all the others. The relationship between these parameters can be seen by the following equations, both of which are commonly accepted approximations used in industry:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$
$$Q = \frac{\omega L_1}{R_1}$$

Note. – The exact equations can be found in IEC Publication 302: Standard Definitions and Methods of Measurement for Piezoelectric Vibrators Operating over the Frequency Range up to 30 MHz.

Figures 7, 8, 9a and 9b, pages 27 to 33, give a range of realizable parameter values for various frequency ranges and cuts.



Notes 1. – Pour des applications spéciales, on peut obtenir des valeurs doubles ou triples de celles-ci à l'aide de techniques particulières.

2. – Les faibles valeurs ne peuvent être obtenues que dans des boîtiers de grand format.

FIG. 7. – Gammes d'inductances pour différentes coupes courantes.