

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60302**

Première édition
First edition
1969-01

**Définitions normalisées et méthodes de mesures
pour les résonateurs piézoélectriques
de fréquences inférieures à 30 MHz**

**Standard definitions and methods of
measurement for piezoelectric vibrators
operating over the frequency range up to 30 MHz**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60302: 1969

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
60302**

Première édition
First edition
1969-01

**Définitions normalisées et méthodes de mesures
pour les résonateurs piézoélectriques
de fréquences inférieures à 30 MHz**

**Standard definitions and methods of
measurement for piezoelectric vibrators
operating over the frequency range up to 30 MHz**

© IEC 1969 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

R

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

Withdrawn

ERRATA 1

Page 8, 14^e ligne du texte français :

au lieu de :

Z_m et Z_n indiquent respectivement l'impédance minimale et maximale, ...

lire :

$|Z_m|$ et $|Z_n|$ indiquent respectivement l'impédance minimale et maximale, ...

Page 9, 13th line of the English text :

instead of :

Z_m and Z_n denote minimum and maximum impedance respectively, ...

read :

$|Z_m|$ and $|Z_n|$ denote minimum and maximum impedance respectively, ...

Page 12, paragraphe 2.3.1, 5^e et 6^e lignes du texte français :

au lieu de :

Supposons que $C_T = 0$, en remplaçant le résonateur par une résistance R_{st} , R_1 peut être calculée par l'équation (4b), tableau V.

lire :

Supposons que $C_T = 0$, R_1 peut être calculée par l'équation (4b), tableau V. Lorsque en remplaçant R_1 par R_{st} et lorsque l'inductance de compensation L_o n'est pas utilisée, l'erreur...

Page 13, Sub-clause 2.3.1, 5th and 6th lines of the English text :

instead of :

Assuming that $C_T = 0$ and then substituting a resistor R_{st} in place R_1 can be calculated from equation (4b), Table V.

read :

Assuming that $C_T = 0$, R_1 can be calculated from equation (4b), Table V. When substituting R_{st} for R_1 and when compensating inductance L_o is not used, the error...

Page 31, figure 2, courbe :

Remplacer Z_m par $|Z_m|$ et Z_n par $|Z_n|$.

Page 31, Figure 2, curve :

Replace Z_m with $|Z_m|$ and Z_n with $|Z_n|$.

Page 31, figure 2, légende, 2^e ligne :

Remplacer Z_m par $|Z_m|$ et Z_n par $|Z_n|$.

Page 31, Figure 2, caption, 2nd line :

Replace Z_m with $|Z_m|$ and Z_n with $|Z_n|$.

Février 1971

SOMMAIRE

Articles	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Introduction	6
1. Classification des phénomènes	6
1.1 Le résonateur piézoélectrique et son circuit électrique équivalent	6
1.2 Paramètres des résonateurs piézoélectriques	6
2. Méthode du circuit de transmission pour la mesure des paramètres du circuit électrique équivalent	10
2.1 Mesure, généralités	10
2.2 Circuit de mesure de transmission	10
2.3 Procédé pour la mesure et détermination des paramètres	12
2.4 Exemples numériques	18
Références	18
TABLEAU IA: Liste des symboles utilisés pour le circuit électrique équivalent d'un résonateur piézoélectrique	20
TABLEAU IB: Liste des symboles utilisés pour le circuit de transmission	24
TABLEAU II: Solutions pour les différentes fréquences caractéristiques	26
TABLEAU III: Valeurs minimales pour le rapport Q^2/r qu'il faut attendre pour des types différents de résonateurs piézoélectriques	28
TABLEAU IV: Relations approximatives entre les fréquences caractéristiques et la fréquence de résonance série f_s d'un résonateur piézoélectrique	28
TABLEAU V: Relation entre les valeurs mesurées et les valeurs fondamentales	30
FIGURES	31

CONTENTS

Clause	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Introduction	7
1. Classification of phenomena	7
1.1 The piezoelectric vibrator and its equivalent electric circuit	7
1.2 Parameters of piezoelectric vibrators	7
2. Transmission circuit method of measuring the parameters of the equivalent electric circuit	11
2.1 Measurement, general	11
2.2 Transmission measurement circuit	11
2.3 Procedure for measurement and determination of the parameters	13
2.4 Numerical examples	19
References	19
TABLE IA: List of symbols used for the equivalent electric circuit of a piezoelectric vibrator	21
TABLE IB: List of symbols used for the transmission network	25
TABLE II: Solutions for the various characteristic frequencies	27
TABLE III: Minimum values for the ratio Q^2/r to be expected for various types of piezoelectric vibrators	29
TABLE IV: Approximate relations between the characteristic frequencies and the series resonance frequency f_s of a piezoelectric vibrator	29
TABLE V: Relationship between measured and fundamental values	30
FIGURES	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DÉFINITIONS NORMALISÉES ET MÉTHODES DE MESURES
POUR LES RÉSONATEURS PIÉZOÉLECTRIQUES
DE FRÉQUENCES INFÉRIEURES A 30 MHz**

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 cette unification internationale, la CEI 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 CEI 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.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 49 de la CEI: Cristaux piézo-électriques et dispositifs associés.

Un projet (la norme des Etats-Unis) fut discuté lors de la réunion tenue à Prague en 1967, à la suite de laquelle il fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1968.

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

Afrique du Sud	Japon
Australie	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**STANDARD DEFINITIONS AND METHODS OF MEASUREMENT
FOR PIEZOELECTRIC VIBRATORS OPERATING OVER
THE FREQUENCY RANGE UP TO 30 MHz**

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC 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.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 49, Piezoelectric Crystals and Associated Devices.

A draft (U.S. standard) was discussed at the meeting held in Prague in 1967, as a result of which it was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1968.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Belgium
Canada
Czechoslovakia
Denmark
France
Israel
Japan

Romania
South Africa
Sweden
Switzerland
Turkey
Union of Soviet Socialist Republics
United Kingdom
United States of America

DÉFINITIONS NORMALISÉES ET MÉTHODES DE MESURES POUR LES RÉSONATEURS PIÉZOÉLECTRIQUES DE FRÉQUENCES INFÉRIEURES A 30 MHz

INTRODUCTION

La présente norme est la révision de la norme IRE sur les cristaux piézoélectriques — Le résonateur piézoélectrique: Définitions et méthodes de mesure, 1957 (57 IRE 14.S1)¹⁾ et la suite des normes dans ce domaine ²⁾, ³⁾, ⁴⁾.

En introduction, un rappel du circuit électrique équivalent du résonateur piézoélectrique et de ses paramètres est suivi par une discussion de la détermination de ces paramètres par la méthode de transmission. Cette méthode fut publiée en 1951 ⁵⁾ et est devenue la base de la norme IRE 1957 ¹⁾. Depuis cette époque, une étude minutieuse de la méthode de transmission a donné des expressions plus exactes qui permettent l'évaluation plus précise des paramètres ⁶⁾. Cette méthode convient pour des fréquences inférieures à 30 MHz pour les gammes de rapport de capacité r et de facteur de mérite M que l'on rencontre généralement, à condition que l'on tienne compte des erreurs de mesures. Les équations données dans cette norme ont été formulées pour corriger ces erreurs.

1. Classification des phénomènes

1.1 *Le résonateur piézoélectrique et son circuit électrique équivalent*

Un résonateur piézoélectrique est constitué d'un élément ayant généralement la forme d'une plaquette, d'une barre ou d'un anneau, taillé dans un matériau piézoélectrique, des électrodes étant plaquées sur cet élément ou fixées à son voisinage, dans le but d'exciter une de ses fréquences de résonance.

Au voisinage de la résonance mécanique, on peut représenter par un circuit électrique équivalent les caractéristiques électriques d'un système vibrant mécanique faiblement amorti, excité piézoélectriquement par l'intermédiaire d'électrodes constituant un dipôle. Ce circuit (figure 1, page 31) consiste en une capacité C_1 , une inductance L_1 et une résistance R_1 en série et une capacité C_0 en parallèle sur l'ensemble. Ces paramètres sont indépendants de la fréquence pour des modes de vibrations distincts. En général, le mode que l'on considère est suffisamment distinct des autres modes pour permettre cette hypothèse. Si tel n'est pas le cas, les équations et méthodes de mesure qui figurent ici ne s'appliquent pas. Pour l'identification des symboles utilisés dans cette norme voir le tableau IA, page 20.

1.2 *Paramètres des résonateurs piézoélectriques*

Les paramètres fondamentaux C_1 , L_1 , R_1 et C_0 définissent le circuit électrique équivalent montré à la figure 1 et on peut à partir d'eux en déduire tous les autres paramètres. Pour une fréquence donnée, les paramètres du circuit électrique équivalent s'approchent généralement de valeurs constantes lorsque l'amplitude de la vibration tend vers zéro. L'amplitude que l'on peut tolérer avant que les paramètres ne soient sensiblement affectés, varie dans de grandes proportions pour des résonateurs de types différents et ne peut être déterminée que par l'expérience.

STANDARD DEFINITIONS AND METHODS OF MEASUREMENT FOR PIEZOELECTRIC VIBRATORS OPERATING OVER THE FREQUENCY RANGE UP TO 30 MHz

INTRODUCTION

This standard is a revision of the IRE standard on piezoelectric crystals — The Piezoelectric Vibrator: Definitions and Methods of Measurement, 1957 (57 IRE 14.S1)¹⁾ and a continuation of standards in this field^{2), 3), 4)}.

An introductory review of the equivalent electric circuit of a piezoelectric vibrator and its parameters is followed by a discussion of the determination of these parameters by the transmission method. This method was published in 1951⁵⁾ and became the basis for the 1957 IRE standard¹⁾. Since that time, a thorough investigation of the transmission method has resulted in more precise expressions which permit a more accurate evaluation of the parameters⁶⁾. This method is suitable for frequencies up to about 30 MHz for the commonly encountered ranges of the capacitance ratio r and the figure of merit M , provided that errors due to instrumentation are taken into account. The equations presented in this standard have been formulated to correct these errors.

1. Classification of phenomena

1.1 *The piezoelectric vibrator and its equivalent electric circuit*

A piezoelectric vibrator consists of an element usually in the form of a plate, bar or ring cut from a piezoelectric material and has electrodes attached to or supported near the element to excite one of its resonance frequencies.

The electrical behavior of a lightly damped mechanical vibrating system which is excited piezoelectrically through electrodes forming a two-terminal network, can be represented in the vicinity of any mechanical resonance by an equivalent electric circuit (Figure 1, page 31) which consists of a capacitance C_1 , inductance L_1 , and resistance R_1 in series, shunted by the parallel capacitance C_0 . The parameters are independent of frequency for isolated modes of motion. 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 outlined herein do not apply. For identification of symbols used in this standard, see Table IA, page 21.

1.2 *Parameters of piezoelectric vibrators*

The fundamental parameters C_1 , L_1 , R_1 , and C_0 define the equivalent electric circuit shown in Figure 1 and all other parameters may be derived from them. At a given frequency the parameters of the equivalent electric 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.

L'équation suivante qui donne l'impédance Z ou l'admittance Y :

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{j}{\omega C_o} \cdot \frac{\Omega - j\delta}{1 - \Omega + j\delta} \quad (1)$$

du circuit électrique équivalent du résonateur piézoélectrique est l'équation de base à partir de laquelle sont écrites les relations entre les divers paramètres.

Dans l'équation (1):

$$\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2} \text{ et } \delta = 2\pi f C_o R_1$$

sont respectivement le facteur de fréquence normalisé et le facteur d'amortissement normalisé. Voir le tableau IA, page 20, pour des définitions de f_p , f_s et des autres symboles utilisés dans l'équation (1) et pour des autres paramètres essentiels. Les fréquences caractéristiques de l'équation (1) sont définies dans le tableau II, page 26.

La valeur de l'impédance du circuit électrique équivalent (Z), sa composante résistive (R_e), sa composante réactive (X_e), et la réactance X_1 de la branche L_1 , C_1 , R_1 sont représentées graphiquement en fonction de la fréquence à la figure 2, page 31, pour définir les fréquences caractéristiques différentes. Z_m et Z_n indiquent respectivement l'impédance minimale et maximale, et R_r , R_a dénotent les impédances à l'angle de phase zéro. Ces courbes n'ont néanmoins qu'un caractère qualitatif et elles ne représentent pas un résonateur piézoélectrique particulier ⁷⁾.

On a, pour mieux exposer les faits, représenté à la figure 3, page 32, les cercles d'impédance et d'admittance d'un résonateur piézoélectrique. Cependant, cette représentation par un cercle de l'impédance ou de l'admittance d'un résonateur piézoélectrique n'est valable que si le diamètre du cercle dans le diagramme relatif à l'admittance est grand en comparaison de la variation de $2\pi f C_o$ dans la gamme de résonance ou si $r \ll Q^2$, ces conditions sont satisfaites dans la plupart des résonateurs. Si ces dernières ne sont pas remplies, la courbe donnant l'admittance présente une allure cissoïdale. Dans le reste de cette norme on suppose que l'impédance (ou l'admittance) du résonateur peuvent être représentées par un diagramme en forme de cercle. Le tableau III, page 28, donne les valeurs pour Q , r et Q^2/r pour des résonateurs de types divers montrant ainsi que cette hypothèse est pratiquement valable pour tous les cas.

Il est nécessaire de faire des approximations lorsque l'on déduit des équations pratiques applicables pour des usages généraux. C'est la somme des erreurs imputables à ces approximations et aux erreurs de mesures qui détermine la précision globale des paramètres, déduits par expérience.

Comme une première approximation est suffisante pour la plupart des applications pratiques, les hypothèses suivantes peuvent être faites:

$$f_m = f_r = f_s \text{ et } f_a = f_n = f_p$$

Des relations plus exactes entre les fréquences caractéristiques f_m , f_r , f_a , f_p , f_n et la fréquence de résonance série f_s , d'un résonateur, valables pour le facteur de mérite $M > 10$ et le rapport de capacité $r > 10$, sont indiquées dans le tableau IV, page 28. Ces relations ont été déduites par divers auteurs ^{8) 9)} à condition que $M \gg 1$.

La séparation entre la fréquence de résonance parallèle et la fréquence de résonance série est donnée par:

$$\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2} = \frac{C_1}{C_o} = \frac{1}{r} \quad (2)$$

The equation for the impedance Z or admittance Y :

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{j}{\omega C_0} \cdot \frac{\Omega - j\delta}{1 - \Omega + j\delta} \quad (1)$$

of the equivalent electric circuit of the piezoelectric vibrator is the basic equation describing the relationships between the various parameters.

In equation (1):

$$\Omega = \frac{f^2 - f_s^2}{f_p^2 - f_s^2} \text{ and } \delta = 2\pi f C_0 R_1$$

are the normalized frequency factor and the normalized damping factor, respectively. See Table IA, page 21, for definitions of f_p , f_s , and the other symbols used in equation (1) and for other essential parameters. The characteristic frequencies of equation (1) are defined in Table II, page 27.

The magnitude of the impedance of the equivalent electric network ($|Z|$), its resistive component (R_e), its reactive component (X_e), and the reactance X_1 of the L_1, C_1, R_1 branch are plotted as functions of frequency in Figure 2, page 31, for the purpose of defining the different characteristic frequencies. Z_m and Z_n denote minimum and maximum impedance respectively, and R_r , R_a the impedances at zero phase angle. These curves, however, have only qualitative character and do not represent a particular piezoelectric vibrator ⁷⁾.

For further clarification, the impedance and admittance circles of a piezoelectric vibrator are reproduced in Figure 3, page 32. However, the circle representation of the impedance or admittance of a piezoelectric vibrator is valid only if the circle diameter of the admittance diagram is large compared with the change of $2\pi f C_0$ in the resonance range or if $r \ll Q^2$, which is fulfilled in most vibrators. If the latter conditions are not fulfilled, the admittance curve shows a cissoidal character. Throughout the remainder of this standard, it is assumed that the impedance (or admittance) of the vibrator can be represented by a circle diagram. Table III, page 29, gives data for Q , r , and Q^2/r for various types of vibrators, indicating that this assumption is valid for all practical cases.

It is necessary to make approximations in deriving practical equations for general use. It is the error of these approximations, in addition to the errors of instrumentation, that govern the over-all accuracy of the experimentally derived parameters.

As a first approximation sufficient for many practical purposes, the following assumptions can be made:

$$f_m = f_r = f_s \text{ and } f_a = f_n = f_p$$

More exact relations between the characteristic frequencies f_m , f_r , f_a , f_p , f_n , and the series resonance frequency f_s of a vibrator, valid for the figure of merit $M > 10$ and the capacitance ratio $r > 10$, are shown in Table IV, page 29. These relationships have been derived by various authors ^{8) 9)} under the assumption that $M \gg 1$.

The separation between parallel and series resonance frequencies is given by:

$$\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2} = \frac{C_1}{C_0} = \frac{1}{r} \quad (2)$$